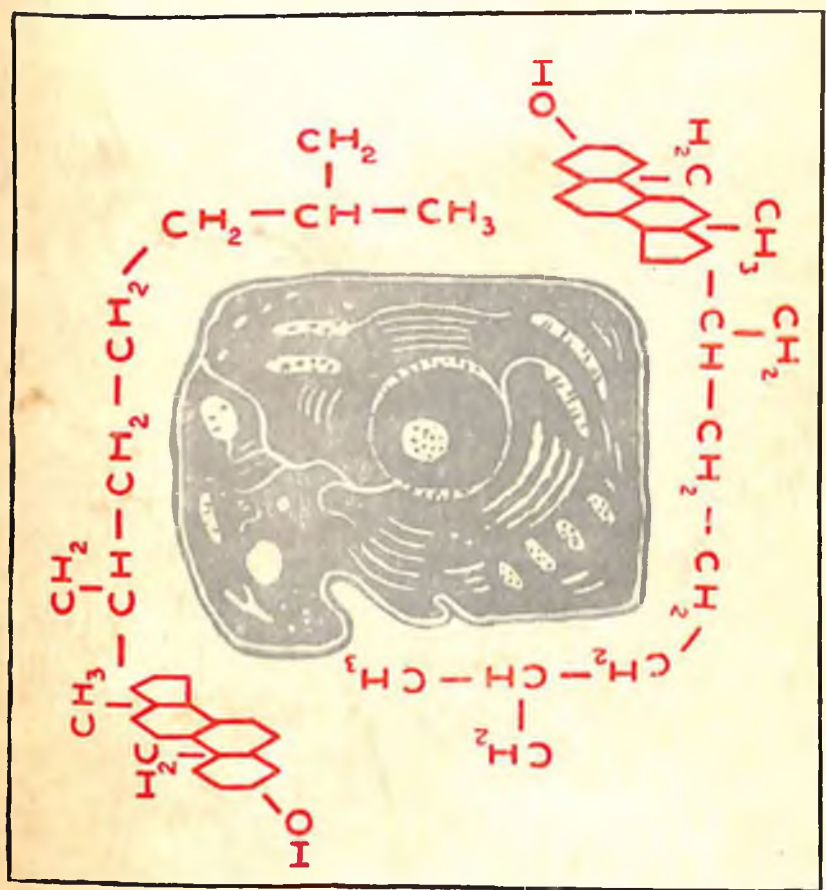


612.015
A 90

В. С. АСАТИАНИ

ХИМИЯ НАШЕГО ОРГАНИЗМА



АКАДЕМИЯ НАУК СССР

612.015

A 90

В. С. Асатнани

**Химия
нашего организма**



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1969

л.к.

В книге академика В. С. Асатиани изложены современные представления о химических превращениях, которые происходят в организме человека в процессе жизнедеятельности. Сначала даны сведения о свойствах важнейших групп веществ, входящих в состав тела человека. Затем описаны те химические превращения, которые происходят в организме в различных условиях. Основную часть книги занимает популярное изложение новейших представлений о химических процессах, протекающих в нашем теле, когда мы трудимся и отдыхаем, бодем и лечимся, питаемся, занимаемся спортом, рассказывается и об особенностях химизма различных возрастных периодов в организмах ребенка, мужчины, женщины.

Цель книги — ознакомить широкие круги трудящихся с основами главных проявлений жизни: обмена веществ, роста, размножения, мышления, памяти, с новейшими данными о тех энергетических потребностях организма, которые необходимо поддерживать, чтобы сохранить здоровье.

Введение

В последние годы произошел переворот в важнейшей области естествознания — науке о жизни. Возникла совершенно новая ее отрасль — молекулярная биология. С помощью химических и физических методов исследователи открыли необычайно важные явления, лежащие в основе всех проявлений жизнедеятельности. сумели проникнуть в самую гущу химических превращений в нашем организме и перевести их на язык строгих и точных формул. Было установлено, что способность создавать гигантские и очень сложные молекулы, свойства которых теперь уже почти разгаданы — одна из главных отличительных особенностей живого организма.

Химия помогла ученым приподнять завесу таинственности, которая прикрывала самую высокую форму организации живой материи — мозг. Химия раскрыла основные законы жизнедеятельности организма человека, показала, какие сложные молекулярные механизмы превращают пищу и поставляют необходимую организму энергию. Ведь, чтобы ни происходило в нашем организме — сокращение мышц сердца, работа желудка, почек, проведение нервного импульса — все это требует непрерывных энергетических затрат.

Современная наука о жизни шагает семимильными шагами, и за ней трудно следить даже искусственному ученому. Но элементарное знание того, что происходит в химическом хозяйстве нашего тела, принесет огромную пользу, помогает сохранить здоровье, хорошее самочувствие и высокую работоспособность. Если данная книга хоть в какой-то степени будет способствовать возрастанию интереса и приблизительно широких кругов читателей нашей страны к этому знанию, автор будет считать, что задача, стоявшая перед ним, выполнена.

Белки и нуклеиновые кислоты

Мы живем в век атомной энергии, когда могучая сила атома поставлена на службу человеку. Естественно, что внимание каждого приковано к проблеме использования атомной энергии. Если подсчитать, сколько раз за последние 10 лет на страницах газет и журналов нашей страны встречались слова «атом», «атомный», то окажется, что этими терминами пользовались в сотни раз чаще, чем словом «молекула». Пришло время для своеобразного реванша так называемых высокомолекулярных соединений, или полимеров — белков и нуклеиновых кислот, содержащихся в клетках живого организма.

Высокомолекулярные соединения — это органические соединения, молекулы которых очень велики. Чем органические соединения отличаются от неорганических? Тем что в их основе всегда лежит углерод, вокруг которого группируются другие химические элементы (водород, кислород, азот, сера и др.). Кроме того, органические соединения представляют относительно более сложные молекулы, на которых мы наблюдаем много новых химических явлений. Поэтому химики уделяют большое внимание органическим соединениям и особенно их способности усложняться так, что из сравнительно небольших молекул одного и того же вещества могут образоваться гигантские молекулы (макромолекулы) с совершенно иными свойствами.

Разберемся в понятиях «молекула» и «гигантская молекула». В Большой Советской Энциклопедии сказано: «Молекула — наименьшая частица данного вещества, обладающая его основными химическими свойствами, способная к самостоятельному существованию и состоящая из одинаковых или различных атомов».

Но что же такое «гигантская молекула»? Здесь придется использовать привычное слово «гигантская» в несколько необычном смысле. Слон — огромное животное, если его сравнить с мышью, но и слона и мышь можно видеть и таким образом сравнить их размеры. А вот непосредственно увидеть молекулу невооруженным глазом невозможно. До недавнего времени молекулы пельзя было видеть и с помощью таких приборов, как микроскоп, увеличивающий в 5000 раз. Таким образом, молекулы пока относятся к миру невидимого. Это понятно, так как размеры молекул ничтожно малы с точки зрения наших обычных представлений. Молекула воды в поперечнике равна 0,0000003 мм, т. е. почти в миллион раз меньше средней толщины человеческого волоса. Но есть молекулы, вес которых настолько превышает вес частицы воды, насколько вес слона больше веса мыши. Такие молекулы, вернее их тени, ученые смогли увидеть с помощью электронного микроскопа. Диаметр таких молекул приближается к микрому.

Таким образом, в мире молекул есть свои карлики и свои великаны. Можно по праву говорить о крупных, гигантских молекулах, высокомолекулярных соединениях или полимерах, свойства которых настолько удивительны, что химию больших молекул можно считать областью науки, пожалуй, наиболее характерной для нашей эпохи. Наука о молекулах-гигантах, или полимерах, сливается с наукой о жизни, так как с природными полимерами связаны все жизненно важные процессы и само происхождение жизни.

По современным представлениям, молекулы белков — это макромолекулы — полимеры. Говоря грубо, вернее, не совсем точно, живые существа построены в основном из макромолекул. Но в чем принципиальное отличие гигантских молекул полимеров от малых молекул? Почему смесь из тысячи малых молекул не может заменить для живого организма макромолекулу, состоящую из тысячи малых молекул, но соединенных друг с другом под действием процесса полимеризации?

Таких отличий очень много. Прежде всего смесь из малых молекул (представим себе тысячу сложных вместе, но не соединенных, не связанных друг с другом кристалликов) не обладает той гибкостью и подвижностью, которая совершенно необходима для жизнедеятельности. Для своего существования организм должен обладать,

с одной стороны, устойчивостью строения, с другой — достаточной гибкостью, чтобы быть чувствительным к внешним воздействиям, и в то же время сопротивляться им в случае надобности. Этими свойствами смесь из малых молекул, как бы мы их ни расположили, не обладает. Столбик, сложенный из тысячи кристалликов, рассыпается от легкого толчка. Макромолекула, т. е. цепь из такого же количества малых молекул, противостоит подобным «толчкам».

Живые организмы всегда индивидуальны, т. е. обладают особыми свойствами, присущими именно данному организму. Достаточно нам взглянуть друг на друга, чтобы убедиться в этом. Но дело здесь не только во внешних различиях. Кристаллики, которые мы уподобили малым молекулам, могут отличаться друг от друга по форме и размеру, но их химическое строение может быть совершенно одинаковым. Напротив, организмы отличаются друг от друга не только внешне, но и по химическому строению. Эти отличия во многом определяются различием свойств тех полимеров, которые входят в состав организмов. Более того, свойства одних и тех же полимеров не только отличны у каждого индивидуума (организма), но могут меняться и «внутри» одного и того же организма. Кровь человека, например, помимо хорошо всем известного белка гемоглобина, придающего ей красный цвет, содержит и другие белки — альбумины. Совсем недавно установлено, что свойства этих полимеров различны не только у отдельных людей, но даже и у одного и того же человека в разные моменты времени. Такой изменчивостью малые молекулы не обладают. Например, поваренная соль. Она входит в состав живых организмов, но ее свойства в организме каждого человека (и других живых существ), населяющих нашу планету, совершенно одинаковы.

Другими словами, у малых молекул отсутствует индивидуальность, а макромолекулы полимеров обладают индивидуальностью, специфичностью строения — свойством, очень важным для «построения» живых существ. Достаточно сказать, что все жизненно важные вещества обладают так называемой стереоспецифичностью. Только живая природа обладает способностью создавать такие вещества. Но несколько лет назад ученым удалось получить подобные полимеры искусственным путем и тем самым разгадать и эту тайну природы.

Каждое живое существо нуждается для своей жизнедеятельности в энергии. Человек и животные черпают ее из пищи. Постоянный приток энергии выше необходим для поддержания температуры тела человека и теплокровных животных на определенном уровне. В животном организме постоянно (даже во время сна) работают сердце, легкие, кишечник и т. д., что также требует затраты энергии. Эта энергия получается при распаде веществ, которые попадают в организм с пищей. Запасенная в пищевых веществах химическая энергия превращается в механическую с одновременным освобождением теплоты.

Малые молекулы обычно бедны свободной энергией. Крупные молекулы и полимеры обладают большими запасами энергии. Только макромолекулы обладают способностью превращать химическую энергию в механическую и обратно и тем самым обеспечивают постоянную работу и воспроизведение тела человека и животных.

Различие между малыми молекулами и гигантскими молекулами полимеров может проявляться и в другом. Химикам и биологам хорошо известно так называемое броуновское движение. Это явление (названное так по имени открывшего его ботаника Броуна) заключается в безостановочном, хаотическом, беспорядочном движении малых частиц жидкости или газа. Природа броуновского движения хорошо изучена: оно является прямым следствием теплового движения молекул окружающей среды, результатом их беспорядочных ударов друг о друга. Малые молекулы находятся в состоянии такого теплового движения, вследствие чего в их расположении нет никакой упорядоченности. Правда, движение их можно прекратить путем резкого снижения температуры. Но при низкой температуре прекращаются и химические реакции. Тепловое же движение макромолекул не нарушает их свойств и не изменяет последовательности расположения звеньев в цепи. Это очень важное свойство, отличающее полимеры от малых молекул и имеющее существенное значение для процессов, протекающих в живых организмах. Биохимики говорят, что такие макромолекулы могут обладать «памятью».

«Запоминающая» молекула! Как необычно звучат эти слова. Но макромолекулы могут «записать» информацию, «запомнить» и передать ее по наследству, и в этом состоит химический механизм процесса самовоспроизведения (авто-репродукции).

О какой же информации, о каких сведениях идет здесь речь? О последовательности расположения химических звеньев в цепи полимера. Такая специфика последовательности во многом определяет индивидуальную особенность макромолекулы полимера. Большую роль играет и способность полимерной цепи в целом принимать и сохранять определенную конфигурацию и, возможно, сообщать ее другим молекулам.

Перечень особых свойств полимеров можно было бы продолжить, но удовольствуемся сказанным выше и вернемся к белкам как полимерам. Что же такое биополимеры? Любые белки, встречающиеся в природе, при разложении дают одни и те же химические соединения — аминокислоты. Известно двадцать аминокислот. Они входят в состав белкового сополимера¹, многократно повторяясь и сочетаясь друг с другом различным образом. Самая характерная особенность белковой молекулы — способ, при помощи которого отдельные аминокислоты связываются в ней друг с другом: это так называемая пептидная связь.

Как представить себе эту связь? Дело в том, что аминокислоты — «двуличные» вещества. Они — кислоты и одновременно щелочи. Кислотную группу в частичке аминокислоты называют карбоксилем, щелочную — аминогруппой. Именно соединение карбоксила одной аминокислоты и аминогруппы двух разных аминокислот и образует пептидную связь. Такое соединение именуют пептидом, а соединение многих молекул аминокислот — полипептидом.

Итак, основу белкового сополимера составляют полипептидные цепочки. Длина этих цепочек и их количество неодинаковы у различных белков; количество аминокислотных звеньев, их соотношения и порядок чередования тоже различны. Важнейшее достижение последнего десятилетия заключается в том, что не только удалось выяснить химическое строение полипептидных цепочек, но и искусственно воспроизвести это строение. Правда, молекулы полученных таким путем сополимеров пока еще сравнительно невелики, многим из них далеко до гигантских молекул большинства природных белков. Но важно то, что синтезированные молекулы идентичны таким же веществам, содержащимся в организме живых существ, и обладают

¹ Полимеры, образовавшиеся из молекул разных мономеров (в данном случае аминокислот), называют сополимерами.

жизненно важными свойствами этих веществ. Назовем такие полимеры биополимерами.

Что общего между натуральным шелком, куском мяса, сыром и желатином? Они состоят из белков. Как различные, должно быть, эти белки! Но все они да и любые другие белки, встречающиеся в природе, при разложении дают одни и те же химические соединения — аминокислоты.

Форма белковых молекул

Белковые молекулярные цепочки располагаются в пространстве различным образом. Они могут образовать спираль, свернуться в клубок, соединиться друг с другом более прочно или образовать менее компактную группу. Способ «укладки» молекулярных цепей определяет многие свойства белков. Способность такой цепочки свертываться или разворачиваться лежит в основе «поведения» протоплазмы живого вещества всех клеток, из которых состоит организм животного или растения. Чем это объясняется?

Аминокислотные остатки содержат активные химические группы (CO, NH, SH), вступающие в разнообразные реакции с различными веществами. Если эти группы скрыты в недрах белковой молекулы, она малоактивна. Но представим себе, что белковая молекула, образно говоря, как бы выпустила эти химические щупальца паружу. Такая молекула находится во всеоружии своих химических средств, приведенных в состояние боевой готовности (рис. 1).

Советские ученые сумели измерить степень упругости молекул некоторых белков. Оказалось, что белки, когда они туго скручены, более упруги, чем каучук. Их можно сравнить скорее с эбонитом. Это обстоятельство имеет особое значение, так как способствует устойчивости расположения различных аминокислотных групп на поверхности молекулы белка.

В настоящее время на структуру белковых молекул ученые стали обращать особое внимание. Прежде всего надо уметь различать эти структуры. То, что мы называем химическим строением полипептидной цепочки, т. е. последовательность расположения аминокислотных остатков, принято называть первичной структурой. Но полипептидная цепочка благодаря взаимодействию ее химических «щупалец» может, извиваясь, как змея, закручиваться в та-

Рис. 1. Спираль полинуклеотидной цепи

кую спираль, витки которой как бы связаны особыми («водородными») связями. Так возникает вторичная структура. Она тоже может извиваться, свертываться в клубок, складываться тем или иным, иногда самым неожиданным образом. В результате образуется третичная структура, которую ученые обозначают термином «конформация». Но и она может усложняться, «самоупаковываться», укладывая отдельные цепи так, чтобы заполнить каждый изгиб тех же цепей. Такому искусству может позавидовать любой квалифицированный упаковщик.

Чему служат такие упаковки, какое значение они имеют для биополимера? Огромное. Это хорошо иллюстрирует молекула гемоглобина. Роль этого красящего вещества крови — присоединять, переносить и отдавать кислород — вот задача, которую гемоглобин выполняет в нашем организме. Каждая молекула гемоглобина использует для этой цели свою конформацию: присоединяя кислород, она сжимается, освобождая кислород, — расширяется. Какую бы работу ни выполняли белки клетки, в ней участвуют, переплетая свое действие, первичная, вторичная и другие структуры, чем достигается и многообразие и одновременно целеустремленность этой «работы».

Какую форму имеют молекулы белков? Эксперименты позволили ответить на этот вопрос. Оказалось, что белки

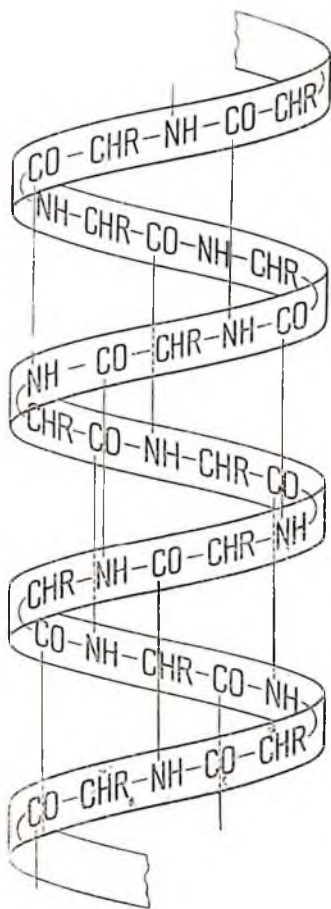




Рис. 2. Модель молекулы гемоглобина

состоит из округлых частиц, напоминающих по форме шарик. Шарик — по-латински «глобулус», поэтому подобные белки получили название глобулярных. Белковую глобулу можно представить себе как клубок, смотанный из длинных цепочек. Иногда такая молекула несколько напоминает пирожок или веретено, но их все же называют глобулярными.

Легко растворимые в воде глобулярные белки играют большую роль в живых организмах. Они содержатся, например, в сыворотке крови. Здесь их форма имеет большое значение. Шарообразным или яйцеобразным молекулам легче «протискиваться» сквозь тончайшие капиллярные сосуды кровеносной системы¹.

Наряду с глобулярными широко распространены белки, молекулы которых представляют собой тончайшие нити, волокна. Эти белки называются волокнистыми — фибриллярными. Мышцы, кожа и многие другие ткани в организме животных и человека построены из таких волокнистых

¹ Советские ученые С. Е. Бреслер и Д. Л. Талмуд показали, что строение глобулярного белка обуславливается равновесием трех типов сил, действующих в молекуле: 1) легко разрывающихся водородных связей — создают спиральное строение полипептидов), 2) сил Ван-дер-Ваальса между боковыми углеводородными группами и 3) сил электростатического отталкивания между зарядами на поверхности белковой молекулы. Гидрофобные группы образуют как ядро глобулы, а гидрофильные сосредоточиваются на ее поверхности.

белков. Между глобулярными и волокнистыми белками (рис. 2 и 3) возможны различные переходы, четкой границы провести нельзя.

Возможность превращения глобулярных белков в волокнистые имеет большое значение для их химических свойств. Так, например, некоторые глобулярные, растворимые белки перевариваются в организме. Но если эти белки перевести в нитевидное состояние, они становятся неперевариваемыми.

Другой пример. Поджелудочная железа вырабатывает белковое вещество — инсулин. Он относится к группе гормонов — веществ, оказывающих сильнейшее влияние на обмен веществ в организме. Особенно сильно инсулин влияет на содержание сахара в крови, резко его снижая. Инсулин — глобулярный белок, но если его нагреть в присутствии кислоты, он переходит в другую форму и теряет при этом способность влиять на содержание сахара.

Белки, как и все другие органические вещества протоплазмы, в живых организмах постоянно распадаются и воссоздаются заново. При этом в каждом органе образуются свойственные ему специфические белки. Как происходит подобный синтез белков? Почему в каждом органе и ткани возникают белки, характерные для соответствующего органа или ткани?

Еще недавно ученые полагали, что в организме распадается только белок, введенный в него извне с пищей. Что касается тканевых белков (их очень много: почти половину



Рис. 3. Модель молекулы миоглобина

веса человека составляют белки), то ученые предполагают, что только незначительная их часть подвергается износу. Было даже вычислено, что для человека, весящего 70 кг, количество папашивающегося т. е. распадающегося тканевого белка не превышает 23 г в сутки. Эти взгляды, державшиеся в науке десятилетиями, были буквально разгромлены в последнее время, благодаря применению метода меченых атомов.

Как известно, радиоактивными можно сделать атомы любых веществ, в том числе и тех кирпичиков-аминокислот, из которых построена молекула белка. Становясь радиоактивными, атомы сохраняют свои первоначальные свойства. В то же время радиоактивный атом легко найти среди миллионов других атомов этого же вещества, так как он способен к излучению.

Возможность метить атомы и следить за их передвижением в живом организме позволила ученым увидеть то, что ранее казалось совершенно недоступным. Выслеживая пути аминокислот с меченым атомом, ученым удалось установить, что все тканевые белки постоянно распадаются и синтезируются. Даже белки сухожилий подвержены этому процессу. Такое обновление тканевых белков происходит за счет аминокислот пищевых белков, причем процесс идет с большой скоростью. Установлено, например, что аминокислотный состав белков печени обновляется наполовину в течение нескольких дней. Вопросы «самообновления» белков — предмет оживленной научной дискуссии.

Восемь незаменимых аминокислот

Итак, вместо разрушающихся тканевых белков организм непрерывно создает новые. Следовательно, он постоянно нуждается в материале, идущем на построение белков. Эта потребность сохраняется на протяжении всей его жизни. Откуда же человек получает белки для построения собственного тела? Ответ известен каждому — из пищи, в состав которой входят вещества, содержащие белки (рис. 4).

Подсчитано, что за свою жизнь один человек в среднем съедает 2,5 т белка. Такая расточительность (этого количества хватило бы еще на 200 человек) обусловлена непрерывным обновлением человеческого тела. Но, вероятно, мало кому известно, что существенно не только количество, но и качество белков в пище. Чем больше содержит

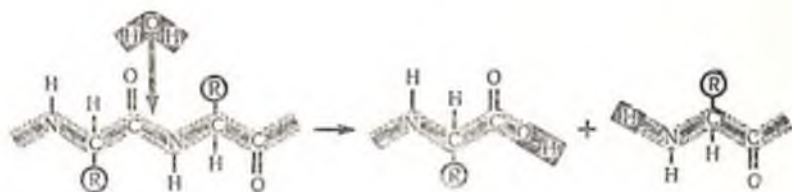


Рис. 4. Гидролиз белковой молекулы

Этот процесс сводится к разрыву пептидной связи. Буквой R обозначены боковые группы аминокислот, из которых построены полипептидные цепи белков

пищевой белок тех аминокислот, из которых построены белки нашего тела, тем выше биологическая ценность такого белка.

Очень важно то, что потребности организма человека и животных в различных аминокислотах неодинаковы. Некоторые из этих кислот буквально незаменимы. Они должны быть обязательно введены вместе с пищей, иначе нарушается или совершенно прекращается рост организма, который неспособен их синтезировать полностью. Таких незаменимых аминокислот восемь: валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин. Есть еще одна очень важная девятая кислота — гистидин, она особенно важна растущему детскому организму. Некоторые ученые считают, что для детей совершенно незаменима еще одна аминокислота — аргинин.

В настоящее время достаточно изучен аминокислотный состав белков различных органов и тканей тела человека и пищевых продуктов. Поэтому имеется возможность так комбинировать продукты питания, чтобы человек получал в пищевом рационе все жизненно необходимые аминокислоты в нужных количествах и сочетаниях.

Хорошо известно, что такие пищевые вещества, как жиры и углеводы, могут откладываться в организме про запас, иногда в чрезмерном количестве (у тучных людей). Может ли организм накапливать белки? Опыты на животных дали интересные результаты. Оказалось, что при голодании мозг и сердце «захватывают» белки мышц, которые становятся для них источником белкового питания. В случае недостатка белков в пище в первую очередь отдают свои белки печень и плазма крови. Можно предположить, что мышцы, печень, плазма крови содержат резервы

белков, которые организм расходует при белковом голодании.

Каково же количество белка, которое должен получать человек с пищей? Этот вопрос настолько сложен, что до сих пор на него нет единой точки зрения. Главная трудность здесь в том, что взрослый организм всегда стремится сохранить белковое равновесие, т. е. тратить столько белка, сколько получает с пищей. Однако такое равновесие нормально лишь в том случае, если вес человека не уменьшается, т. е. его организм не расходует при недостатке белков жиры и углеводы, а это учитывалось далеко не всеми исследователями. Так, датский врач Хиндхеде утверждал, что в сутки вполне достаточно 25—30 г белка человеку. Но анализ его опытов показал, что все лица, за которыми он наблюдал, хотя и сохраняли белковое равновесие, но значительно потеряли в общем весе.

Американский физиолог Читтендел, основываясь, как и Хиндхеде, на экспериментах, рекомендовал норму белка в 50—60 г в сутки. Люди, которых он исследовал, также находились в состоянии белкового равновесия, но теряли в весе. Следовательно, и эта норма явно недостаточна.

Советские ученые считают, что средняя норма белка в суточном рационе взрослого человека равна 100 г. Это количество белка при нормальной общей калорийности пищи гарантирует человека от истощения белковых «запасов». При усиленной трате белков (во время напряженной умственной или физической работы) оно должно быть доведено до 150 г. Имеет значение не только соответствующее количество белков. Важно и качество белков, их аминокислотный состав. Следует учитывать и то обстоятельство, что растущий организм нуждается в дополнительных количествах белка, обеспечивающих рост и формирование тела. Если организм взрослого человека должен получать извне несколько больше 1 г белка на килограмм веса тела, то эта цифра для ребенка в первые годы жизни должна быть увеличена примерно в три раза (в зависимости от возраста).

«Нужно» белки

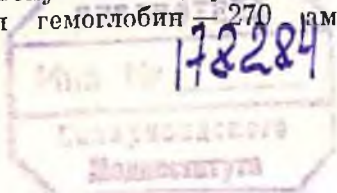
В последние годы ученым удалось расшифровать химическую природу специфичности белков. В чем выражается эта специфичность? Нагляднее всего она проявилась при переливании крови.

Долгое время врачи пыгались прибегать к переливанию крови для спасения больных и раненых. Но очень часто больные умирали после переливания. Почему это происходило? Потому, что кровь — это своего рода смесь белков. Белки переливаемой крови отличаются от белков человека, которому переливают кровь: они для него «чужие». Переливание крови стало обычным и безопасным делом только после того, как были детально изучены свойства белков крови и найдены средства, предотвращающие специфическое действие «чужих» белков. «Чужими» являются не только белки различных организмов — людей, животных, микробов. Даже в одном и том же организме белки различных органов отличаются друг от друга, хотя и имеют много общего.

В специфичности белков известную роль играют различия в форме молекул, расположении в них цепочек и т. д., но главная причина — различия в химическом строении белков, в количестве, повторяемости и особенно в порядке чередования аминокислотных кирпичиков в их молекуле.

Но бывает и так, что белки обладают совершенно одинаковыми жизненными свойствами, хотя и отличаются по химическому составу. Поджелудочная железа быка, свиньи, овцы выделяет знакомый уже нам инсулин. Однако инсулин быка, свиньи и овцы различается и по содержанию аминокислот, и по чередованию их в молекулярной цепочке. Вот уже много лет остро стоит проблема лабораторного получения белка, его синтеза. Еще недавно дело ограничивалось возможностью соединения нескольких аминокислот. Получаемые при этом продукты по свойствам и строению были очень далеки от настоящих белков. В лучшем случае это были «обломки» белковых молекул. Синтез и изучение таких «обломков» в химических лабораториях имели, несомненно, большое значение. Однако теперь это уже пройденный этап. Наука находится на ближайших подступах к окончательному решению проблемы создания белковых полимеров в лабораторных условиях.

Накоплено довольно много сведений об аминокислотном составе самых разнообразных белков. Как и следовало ожидать, количество аминокислот в них оказалось разным. Некоторые белки состоят всего из нескольких аминокислот. Их с большим правом следует отнести к пептидам. Большинство же белков содержит по несколько сот аминокислот. Например, фермент рибонуклеаза содержит 124 аминокислоты, а белок крови гемоглобин — 270 аминокислот.



Удалось сделать полный анализ аминокислотного состава белковой молекулы, т. е. произвести ее полную разборку. Но как ее снова собрать? Анализ молекулы белка не дал ответа на вопрос, в какой последовательности друг за другом расположены аминокислоты в полипептидной цепи. А не зная этого, нельзя синтезировать белок, так же как не зная, скажем, в каком порядке буквы расположены в слове, нельзя его написать. Ведь в зависимости от порядка чередования аминокислот будут образовываться разные белки, несмотря на их одинаковый аминокислотный состав.

Надо было искать последовательность расположения аминокислот в белке. Но как? Математики подсчитали, что может существовать огромное количество сочетаний аминокислот даже в самой крохотной молекуле белка — 10^{24} . Ну, а если взять молекулу белка более крупных размеров, например, весом в 120 000, тогда число возможных сочетаний достигнет фантастической цифры 10^{1268} ! Невозможно перепробовать все эти комбинации, чтобы случайно натолкнуться на единственно вероятную. Такой колоссальный труд потребовал бы многих десятков, а может быть, сотен лет. Но ученые нашли выход из создавшегося положения.

Оказалось, что для выяснения последовательности расположения аминокислот в белке его нужно «разбирать» не на отдельные аминокислоты, а на более крупные блоки из трех — восьми и более аминокислот и затем по составу этих блоков судить о белке в целом. Это особенно легко сделать в случае просто построенных белков с малой молекулой.

В настоящее время несколько белков расшифрованы подобным образом, один из них — белок инсулина. На это английскому биохимику Сэнджеру и его сотрудникам потребовалось 10 лет интенсивной работы. Ученые выяснили, что инсулин состоит из двух цепей, из которых одна содержит 21, а другая — 30 остатков аминокислот. Цепи соединены между собой двумя связями — мостиками серы.

Мало того, ученым удалось искусственно синтезировать некоторые пептиды. Таким путем американский биохимик Дю-Виньо получил два гормона белковой природы — вазопрессин и окситоцин, выделяемые в организме железой внутренней секреции — гипофизом. Последним достижением биологической химии можно считать получение искусственным путем одной из цепей инсулина. Это огром-

ный успех, но... для его достижения потребовался напряженный труд десяти ученых в течение трех лет, а живая клетка синтезирует молекулу белка в течение двух-трех секунд!

Чтобы синтезировать целую молекулу инсулина, ученые попытались соединить полученную цепь с другой цепью, выделенной из естественного инсулина. Однако синтезированный продукт оказался малоактивным. Очевидно, не удалось соединить эти две цепи так, как «надо». Исследователи продолжают поиски того единственного способа соединения двух цепей инсулина, который даст активный гормон, и не сомневаются в успешном достижении поставленной цели. Уже разработаны методы синтеза полипептидных цепочек, приближающиеся к тем условиям, которые существуют в живой клетке. Накопилось большое число фактов, говорящих о том, что большинство белков самой разнообразной природы, многие из которых обладают ферментативной активностью, построены не из одной, а из двух, трех и четырех полипептидных цепей, соединенных друг с другом различными связями. Многие лаборатории мира стремятся выяснить строение таких многоцепочечных белков, каким путем действует сложное многоцепочечное устройство, почему для ферментативной активности белка в некоторых случаях требуется объединение пептидных цепей вместе? На помощь им приходит могучая техника XX в., дающая в руки ученых такое оснащение, как ультрацентрифуга, аппаратура для рентгеноструктурного анализа и специальные пептидные карты.

Но не следует думать, что для проявления биологической активности белков всегда нужна многоцепочечная структура. Во многих случаях белковая молекула, состоящая из одной цепи, является биологически активной. Если от одиночной полипептидной цепи фермента рибонуклеазы, состоящей из 124 аминокислот (рис. 5), отщипнуть несколько десятков аминокислот, то фермент не потеряет своей активности.

Но почему в одних случаях для биологической активности нужна составная многоцепочечная структура, а в других — в этом нет необходимости? Ответив на этот вопрос, вероятно, можно будет ответить и на множество других вопросов относительно «секретов» биологической активности разных белков, до конца раскрыть тайны белковой молекулы. Это в свою очередь откроет огромные возможности

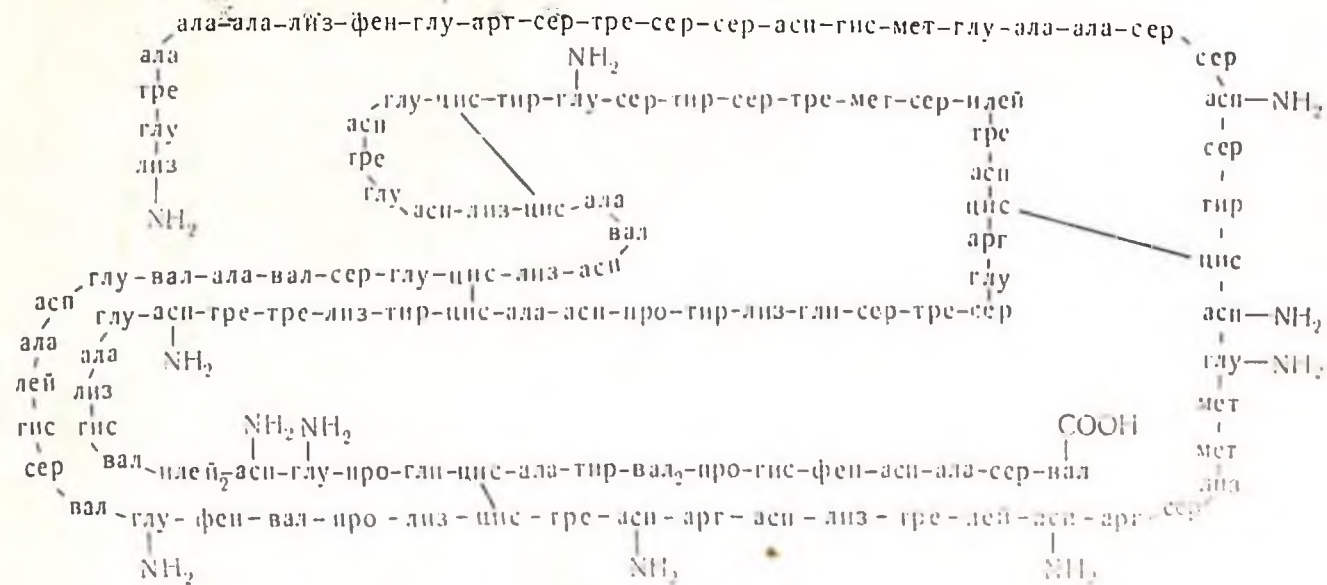


Рис. 5. Схема строения рибонуклеазы

профилактики и лечения болезней, каждая из которых прямо или косвенно связана с нарушением нормального обмена белков в организме человека. В чем заключаются эти возможности? Пример с инсулином — хорошая иллюстрация.

Мы уже говорили о многообразии и видовой специфичности белков. Инсулин животных (для лечения больных диабетом инсулин берут именно у животных) несколько отличается от инсулина человека. А введение чужеродного белка прямо в кровь — дело небезопасное, наш организм может «бурно протестовать» против этого. Остается один выход — синтезировать точную копию человеческого инсулина и тем самым дать в руки врачам безупречное оружие для борьбы с диабетом.

Белки исключительно разнообразны и по величине молекул, и по молекулярному весу. Представим себе людей, из которых некоторые весят 50 кг, а вес других доходит до 1000 т. Есть белки, молекулярный вес которых не превышает 2—3 тыс., и наряду с этим встречаются сложные белки-нуклеопротеиды, молекулярный вес которых доходит до 40 млн.! Правда, исследователи все настойчивее утверждают, что нуклеопротеиды не представляют химически индивидуальных соединений. Другими словами, молекула нуклеопротеида неоднородна, она представляет особое сочетание молекул белка и нуклеиновых кислот. Допустим, что это так. Молекулярный вес различных белков во всяком случае колеблется в широких пределах: от нескольких тысяч до миллиона, а молекулярный вес нуклеиновых кислот огромен и часто исчисляется миллионами.

Нуклеиновые кислоты

Все живые вещества — от микроскопической бактерии до слона — содержат две нуклеиновые кислоты: рибонуклеиновую — сокращенно РНК и дезоксирибонуклеиновую — сокращенно ДНК. Казалось бы, обе эти кислоты должны быть по своим свойствам «проще» белков. Ведь удивительное своеобразие, вернее, разнообразие, белков зависит от различия в сочетаниях тех 20 кирпичиков-аминокислот, из которых построена молекула белка, а таких кирпичиков в молекуле нуклеиновой кислоты всего четыре. Эти четыре особых химических соединения именуют нуклеотидами. Каждый нуклеотид резко отличается по строению от

аминокислот и состоит из азотистого основания, сахара и фосфорной кислоты. Нуклеотиды принято обозначать по первым буквам названий содержащихся в них азотистых оснований: аденина — А, гуанина — Г, цитозина — Ц и тимина — Т. Эти четыре нуклеотида входят в состав ДНК, а молекула РНК, содержащая также четыре нуклеотида, отличается тем, что вместо тимина — Т содержит урацил — У (рис. 6).

Несмотря на кажущуюся простоту строения молекул, нуклеиновые кислоты удивительно разнообразны и отличаются замечательной специфичностью. Невидимые глазу вирусы и бактерии, весь видимый мир растений, животных, наконец, человек — все они содержат свои особые, отличные от всех иных, нуклеиновые кислоты.

Нашицем подряд приведенные выше буквенные обозначения: А, Г, Ц и Т и попробуем переставлять буквы. Вот от таких-то вариаций сочетания и зависят отличительные признаки, специфичность одинаковых по весу и химическому составу нуклеиновых кислот, если они построены из одного и того же количества одинаковых нуклеотидов. Но случается и так, что в одних ДНК или РНК будет больше нуклеотидов одного вида, в других — другого, и такое различие тотчас скажется на биологической активности, по которой нуклеиновые кислоты не уступают носителям жизни — белкам. Они даже в определенной степени «управляют» белками, определяют их строение — так можно расшифровать основное свойство ДНК сохранять и передавать наследственные признаки. Самые кардинальные проблемы науки о жизни — биологии — это проблемы сущности процессов наследственности, изменчивости, роста и размножения. Нуклеиновые кислоты, в частности ДНК, занимают здесь ключевые позиции.

Известно, что сходство между родителями и детьми обеспечивается наследственной информацией, содержащейся в хромосомах. В хромосомах расположены наследственные единицы — гены, их материальным воплощением являются молекулы ДНК, на которых записаны наследственные сведения. А так как хромосомы содержатся в ядре половой клетки, то, следовательно, ядро заключает в себе запись опыта предшествующих поколений и весь план будущего развития ее строения организма. Именно поэтому человек порождает человека, а не собаку, собака не порождает лисицу и т. д. Гены весьма устойчивы, благодаря чему

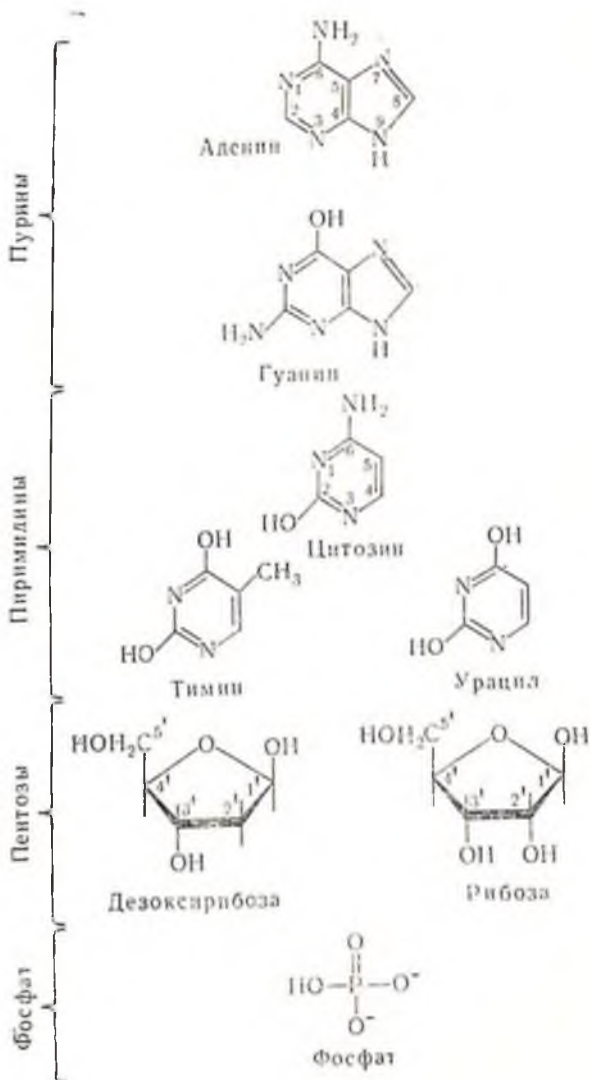


Рис. 6. Химический состав нуклеиновой кислоты

полезные признаки без изменений передаются из поколения в поколение. Но под влиянием внешних причин гены иногда могут изменяться — мутировать. Эту связь между наследственностью и изменчивостью человек использует для выведения новых форм животных и растений.

Мы еще много не знаем о нуклеиновых кислотах. Но и того, что известно, достаточно, чтобы поставить их рядом с белками по значению для процесса жизни. Это настоящие биополимеры, строение которых удалось расшифровать лишь недавно.

Ученых долгое время интересовал вопрос — каким образом связаны между собой отдельные нуклеотидные кирпичики в сложной молекуле нуклеиновой кислоты. Оказалось, что роль соединительных мостиков здесь играют остатки фосфорной кислоты (рис. 7). Выяснилось также, что отдельные нуклеотиды расположены в молекуле каждой нуклеиновой кислоты в строго определенном порядке. Именно эта точная последовательность и определяет качественное отличие одной нуклеиновой кислоты от другой. Природа не была особенно оригинальна в выборе средств для сообщения молекулам «живых» сополимеров отпечатка специфичности. Ведь этот принцип последовательности чередования кирпичиков-аминокислот лежит в основе различий между такими биополимерами, как белки.

Не так давно ученым удалось заглянуть еще глубже в строение нуклеиновых кислот (рис. 8). Как показали английские биохимики Дж. Уотсон и Ф. Крик, дезоксирибонуклеиновая кислота представляет собой как бы «двойную» спираль: две молекулы нуклеиновой кислоты образуют спирали, которые будто ввинчены одна в другую и в этом виде удерживаются непрочными водородными связями. В таком строении ДНК содержится разгадка одной из важнейших особенностей жизни — передачи наследственных признаков при делении клетки. Теперь мы должны обратиться к сугубо техническим терминам, получившим за последнее десятилетие широкое применение в науке о жизни. «Шаблон», «матрица», «код» — знакомые слова, и все же они требуют пояснения, когда их используют биологи. В Большой Советской Энциклопедии сказано: «шаблон» — образец, по которому изготавливаются однородные изделия; «матрица» (в типографском деле) — форма, применяемая для отливки шрифтов; «код» — система условных обозначений и сигналов, большей частью сокращенных и упрощенных. Напомним, что в современных электронных вычислительных машинах «код» — это система «команд», применяемая для программирования работы машины.

Чтобы нагляднее представить себе все это, вспомним,

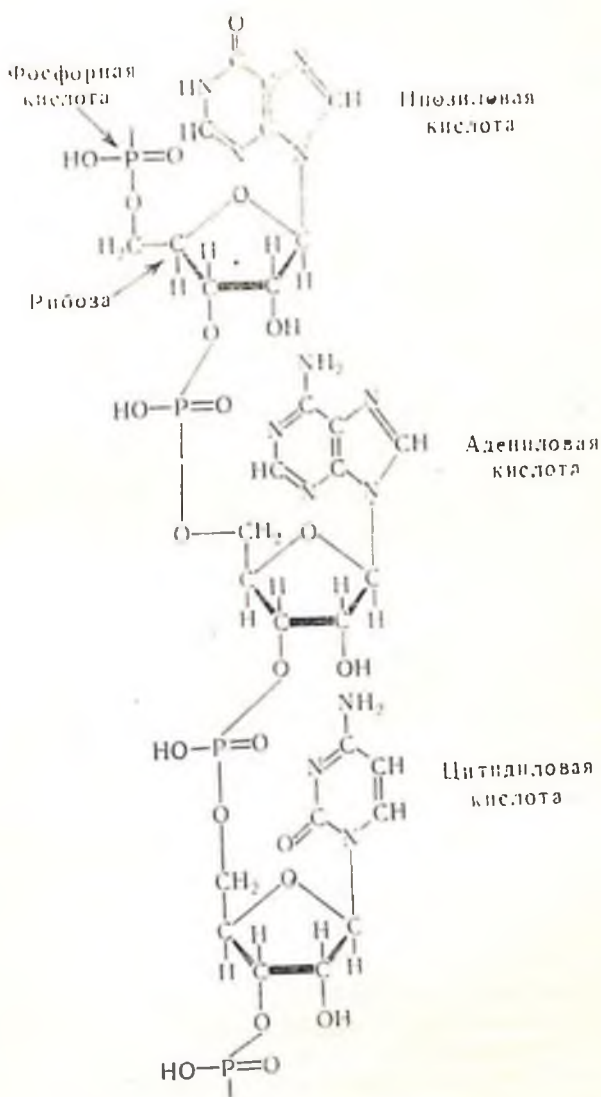


Рис. 7. Химическое строение нуклеотидов

с какими трудностями встречаются переводчики с одного языка на другой. Алфавит английского языка состоит из 26 букв, а русского — из 33 букв. Перед переводчиками стоит задача «перекодирования» текста, записанного алфавитом из 26 букв, в текст из 33 букв. Молекула белка состо-

тоит из 20 «букв»-аминокислот, а молекула ДНК из четырех «букв»-нуклеотидов. Таким образом, если группа нуклеотидов в молекуле ДНК кодирует требуемую аминокислоту, соседняя группа — другую, следующая — еще аминокислоту. Другими словами, если информация о синтезе определенного белка осуществляется с помощью определенного набора четырех нуклеотидов в молекуле ДНК, то соответствующая «инструкция» при синтезе белка должна перекодироваться с четырехбуквенного (четыре нуклеотида) алфавита в систему из двадцати аминокислот — «букв».

Но это еще не все. По современным воззрениям, клетка состоит из оболочки, желеобразной цитоплазмы и внутренней уплотненной части — ядра. Некоторые клетки не содержат ядра, в других имеется по несколько ядер. Разные части клетки имеют различный удельный вес, что позволяет разделить их с помощью центробежной силы, которую развивает центрифуга. Если растереть клетку и полученную взвесь вращать на центрифуге, то сначала осядут на дно кусочки оболочки и клеточные ядра. При сильном вращении осядут более мелкие частицы — митохондрии, их можно увидеть только при сильном увеличении микроскопа. Наконец, когда центробежная сила в центрифуге в 100 тыс. раз превысит силу земного притяжения, осядут мельчайшие частички — микросомы, после чего остается только жидкость.

Основное назначение митохондрий — накапливать энергию и снабжать ею клетку, микросом — синтезировать белок, а ядра — производить и выделять в цитоплазму различные вещества (например, ферменты), которые регулируют протекающие в ней химические процессы. Наряду с этим и ядро и митохондрии осуществляют синтез белка и других веществ.

Вернемся к нуклеиновым кислотам. Как представить себе их участие в передаче наследственных признаков? Для этого необходимо, чтобы эти кислоты обладали бы способностью к самовоспроизведению — «редупликации». Можно думать, что благодаря слабости водородных связей, скрепляющих «двойную» спираль ДНК, эта спираль легко распадается. Одна из половинок распавшейся спирали — молекула ДНК — играет роль «шаблона», «матрицы»: на ней воссоздается новая молекула ДНК. Вновь возникающая молекула точно повторяет структуру своей «матрицы» — половинки распавшейся «двойной» спирали. В результате мо-

Рис. 8. Схема строения дезоксирибонуклеиновой кислоты

Две ленты — две цепи; горизонтальные полосы — поры оснований, удерживающие цепи; вертикальная линия — ось нити



лекула нуклеиновой кислоты служит для воссоздания себе подобной, происходит ее самовоспроизведение.

Но нуклеиновые кислоты не только самовоспроизводятся, они служат также инструментом, который используется организмом для синтеза белка. Как происходит этот биосинтез?

Мы уже знаем, что отличие одного индивидуального белка от другого определяется прежде всего природой и последовательностью чередования аминокислот, входящих в состав его молекулы. Сведения об этом порядке аминокислот в белке записаны в ДНК. Передать эти сведения — значит передать наследственность. Совокупность сообщений, которые могут передаваться в процессах управления, получила наименование информации. При всякой передаче информации необходима система, способная передавать сообщение с помощью сигнала определенной природы. Например, когда мы посылаем телеграмму, ее содержание «кодируют», т. е. каждую букву выражают азбукой Морзе при помощи точек, тире и пропусков. Можно предположить, что отдельная нуклеиновая кислота передает информацию о строении молекулы белка, «кодируя» синтез совершенно определен-

ного белка точно так же, как ДНК «кодирует» синтез новой молекулы нуклеиновой кислоты. Таким образом, строение нуклеиновой кислоты определяет и строение получающегося белка. В том и заключается механизм передачи свойств организма по наследству: от родителей к потомкам передается наследственная информация.

Самое замечательное, пожалуй, то, что количество информации, заключенное в одной молекуле биополимера (а нуклеиновые кислоты и белки являются полимерами, точнее, сополимерами), оказывается огромным. Если бы мы попытались записать всю эту информацию в книге, нам не хватило бы толстого тома. Живая природа в этом отношении пока еще недостижима для техники. Способы кодирования у биополимеров неизмеримо экономнее тех способов, которые используются в технике. И тут работа «по патенту природы» открывает перед техникой большие возможности. Для этого, конечно, необходимо изучить процессы самовоспроизведения биополимеров — белков и нуклеиновых кислот — значительно глубже. Но и сейчас уже наука располагает значительными сведениями о химических процессах, происходящих в живом организме при синтезе белка.

Можно допустить, что для этого требуются следующие условия. Аминокислоты (кирпичики, необходимые для построения молекулы белка) не соединяются друг с другом, если их не перевести в деятельное состояние, не активировать. Источником энергии для этого служат соединения, содержащие фосфор в виде фосфорной кислоты. Активированные аминокислоты переносятся на нуклеиновую кислоту (рис. 9).

Можно считать, что белок нуклеопротеидов (сложных белков, состоящих из белка и нуклеиновой кислоты) также входит в спиральную структуру ДНК. Таким образом, получается не «двойная», а «тройная» спираль, состоящая из двух молекул нуклеиновой кислоты и одной молекулы белка — полипептидной цепочки. Чередованием звеньев в молекуле нуклеиновой кислоты определяется последовательность звеньев в образующейся полипептидной цепочке «живого» полимера-белка. После того как нуклеиновая кислота «притянула» к себе определенный набор аминокислот, между соседними аминокислотами образуется пептидная связь, соединяющая их в полипептидную цепочку образованного белка. Этот белок входит в состав «нового» сложного белка нуклеопротеида. Аналогичным образом

Рис. 9. Две модели структуры РНК

Стрелкой показан участок при-
крепления аминокислоты



должен происходить и синтез свободных белков. Такие белки, образовавшиеся на молекуле нуклеиновой кислоты, затем отделяются от ее поверхности.

Химические процессы, протекающие в клетке, необходимо рассматривать в связи с ее строением. В плазме клетки имеются мельчайшие структурные образования — рибосомы. Именно на рибосомах происходит синтез основной массы белка. Но в состав цитоплазмы входит РНК, а мы знаем, что синтезом белка управляет ДНК, содержащаяся в ядре клетки. Каким же образом генетическая информация, закодированная в ДНК и отображающаяся в последовательности аминокислот в синтезируемом белке, передается к месту синтеза? Химики установили, что таким переносчиком генетической информации, таким «посредником» является особая РНК, которую так и называют «посредник-РНК» (п-РНК)¹. Так химия помогла биологам приблизиться к разгадке тайн наследственности. Ведь биологические свойства, специфичность белка характеризуются определенной последовательностью всех составляющих его аминокислот. Соответствующий аминокислотный «код» передается от ДНК к РНК, которая служит своеобразной «матрицей» для синтеза определенного белка. Именно такие специфические белки определяют тип обмена ве-

¹ Ее называют также информационной РНК, так как она как бы «исписывает» информацию с определенных участков ДНК.

ицеств клетки, обуславливая этим видовые и индивидуальные особенности организма.

В последние годы химия сделала еще больше — она смогла раскрыть структуру самого «кода», показав, что он одинаков для всех живых организмов. Была, наконец, установлена так называемая триплетная (тропичная) природа «кода», заключающаяся в том, что каждую аминокислоту синтезируемого белка определяют четыре нуклеотида, взятые по три — «триплеты». Таким образом, благодаря достижениям химии раскрыта одна из главных загадок живой природы, и клетка предстала перед учеными как стройная система белка и нуклеиновых кислот. Но химики не довольствуются этим и упорно продолжают развивать исследования, на результатах которых мы остановимся позже. Прежде всего удалось синтезировать полиурциловую кислоту со свойствами РНК-посредника. Впервые в мире был осуществлен синтез белка, состоящего только из одной аминокислоты — фенилаланина. Конечно, полученный «полифенилаланин» — не полноценный белок, но это своего рода «предбелок». Ученые экспериментально доказали, что искусственная РНК, полученная с помощью специального фермента (и состоящая только из одного нуклеотида — уранила), содержит «код» для синтеза белка из одной аминокислоты — фенилаланина. Дальнейшие исследования химиков привели к еще более важным открытиям — удалось расшифровать «код» для синтеза белка из 19 аминокислот. Стала известна и последовательность нуклеотидов в отдельных «триплетах» (что, конечно, потребовало огромных усилий мысли и труда). Скоро химики вручат биологам шифр для открытия главного сейфа природы, хранящего секретные планы строения живого белка.

Таким образом, синтез высокополимерных нуклеиновых кислот осуществлен. Но этот синтез протекает на готовой «матрице» и осуществляется специфическими белками-ферментами. А как же возникли первичные «матрицы»? Ждала ли природа появления ферментов для синтеза нуклеиновых кислот или они могли возникнуть самостоятельно, периферическим путем? Как вообще возникли на Земле первые примитивные нуклеиновые кислоты? Все эти вопросы представляют большой интерес для науки.

Недавно западногерманский биохимик Г. Шрамм нашел новый оригинальный и простой путь синтеза нуклеозидов (соединения типа азотистое основание — сахар) и нуклео-

тидов при помощи полифосфатов. Полифосфат представляет собой смесь так называемых линейных и циклических полиэфиров фосфорной кислоты.

Нуклеозиды, полученные таким образом из оснований (аденина) и сахаров (рибозы или дезоксирибозы), полностью сходны с аналогичными естественными веществами. По ходу реакции к образовавшимся нуклеозидам под влиянием полифосфата присоединяется остаток фосфорной кислоты, в результате чего возникают нуклеотиды. Тем самым завершается полная «постройка» нуклеотидов, т. е. тех элементарных деталей, из которых состоят все нуклеиновые кислоты и, что самое замечательное, без участия таких катализаторов, как ферменты. Оказалось, что полифосфаты не только катализируют образование нуклеотидов, но и «заставляют» их полимеризоваться с образованием длинных полинуклеотидных цепочек.

Таким образом, впервые в истории естествознания химическим путем искусственно синтезированы длинные полинуклеотидные цепи. Эти синтетические полинуклеотиды по своей длине равны природным «растворимым» РНК или даже несколько больше их.

В отличие от полинуклеотидов, полученных ферментативным путем, химически синтезированные полинуклеотиды не обладают специфической нуклеотидной последовательностью. При химической конденсации отдельных нуклеотидов в длинную цепь различные нуклеотиды, по-видимому, соединяются между собой беспорядочно, хаотично, а в природных нуклеиновых кислотах распределение нуклеотидов вдоль цепи подчиняется определенным закономерностям. В этом заключается главное отличие полученных химическим путем полинуклеотидов от естественных нуклеиновых кислот.

Открытие каталитических свойств полифосфатов — яркий пример того, как химия помогает биологам не только глубже заглянуть в процессы становления жизни, но и находить новые пути управления живой природой. Известно, что главные носители наследственных факторов — ядра клеток и, в частности, хромосомы ядра — тип сложного соединения белка и нуклеиновых кислот, хорошо различимые под микроскопом. Для каждого вида животных и растений число ядерных хромосом строго определено. У человека в клеточных ядрах содержится 23 пары хромосом.

Хромосомы входят в состав ядра каждой клетки. Эти видимые лишь под микроскопом нити, имеющиеся также и в

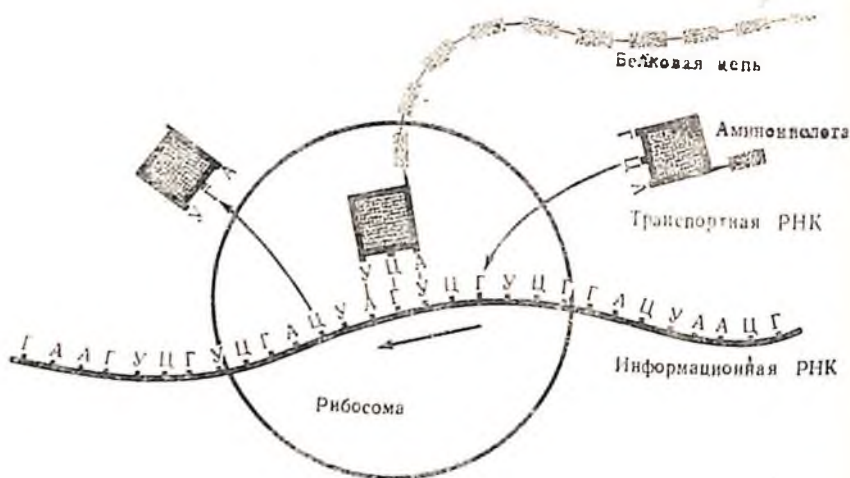


Рис. 10. Схема процесса трансляции.

При трансляции генетическая информация переводится с четырехбуквенного «языка» нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) на двадцатibuквенный «язык» белков. «Буквами» служат 20 аминокислот, которые соединяются в белковые цепи: код ДНК «переписывается» в структуру информационной РНК, которая связывается с рибосомами, где и протекает белковый синтез

половых клетках, при оплодотворении передают новому организму наследственные задатки родителей.

Хромосомы *x* и *y* определяют пол. Это сочетание свойственно мужскому организму; у женщины же имеются две *x*-хромосомы, но отсутствует маленькая *y*-хромосома. При соединении женской и мужской половых клеток могут возникнуть определенные комбинации этих хромосом. Именно от их сочетания зависит пол будущего младенца.

Когда в организме образуются половые клетки, эти хромосомы своеобразно комбинируются, часто перекрещиваясь друг с другом и образуя при оплодотворении зародышевую дочернюю клетку. В этой вновь образовавшейся клетке одна половина хромосом получена от отца, вторая — от матери. Ныне генетика вплотную подошла к разрешению наиболее важного вопроса: каким же путем осуществляется передача наследственных признаков? Это проблема превратилась в самостоятельный раздел биологической науки — учение о биохимических основах генетики.

Удалось обнаружить исключительно интересные особенности биохимического строения хромосом, в частности ДНК, которая является важнейшим носителем наследствен-

ной передачи признаков. Ученым удалось заглянуть в самую гущу химических процессов, протекающих в том гигантском комбинате по производству различных белков, каким является клетка. Еще недавно существовала формула «один ген — один фермент». Другими словами, каждый самостоятельный отрезок хромосомы — ген (ДНК) управляет синтезом одного белка-фермента. Но французские ученые Ж. Моно и Ф. Жакоб внесли существенное уточнение в это представление. Оказалось, что гены неодинаковы: одни из них передают информацию — это структурные гены; другие управляют работой структурных генов и среди них надо различать гены-регуляторы и гены-операторы.

Как это происходит? На первой стадии ген-регулятор управляет синтезом репрессора, который затем может отпереть или запереть ген-оператор и таким образом пустить в ход или остановить работу структурных генов. Но в работу репрессора может вмешаться еще одно вещество, называемое индуктором. Индуктор тогда парализует репрессор, «хватает» его, не дает ему осуществлять контроль. И если репрессор до этого не давал гену-оператору работать, т. е. строить молекулы какого-нибудь фермента, то теперь «цех» снова начнет работать (рис. 10, 11, 12).

Вспомним, что репрессор может отпереть или запереть ген-оператор, он подходит к нему, как ключ к замку. Ну, а если ключ «сломается» и половинка его останется в замке? Тогда синтез белка приобретает беспорядочный характер. Отсюда один шаг до предположения — не это ли происходит при раке? Ведь именно при этой болезни фабрику

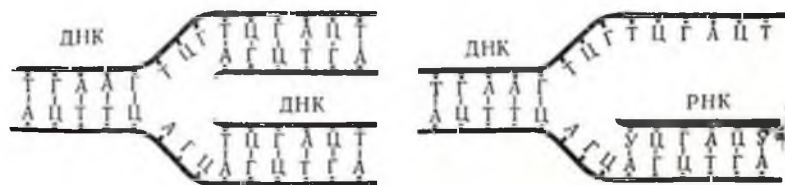


Рис. 11. Схема передачи генетической информации

Процесс состоит из дупликации (а), транскрипции (б) и трансляции. Генетическая информация записана в цепях молекул ДНК. Кобирующими буквами служат аденин — А, тимин — Т, гуанин — Г и цитозин — Ц. В обычной ДНК А образует пару с Т, а Г — с Ц. При дупликации на каждой родительской цепи синтезируется новая комплементарная цепь ДНК. При транскрипции матрицей служит только одна цепь ДНК, на которой образуется молекула РНК. В молекуле РНК вместо А стоит урацил — У (а не тимин Т)

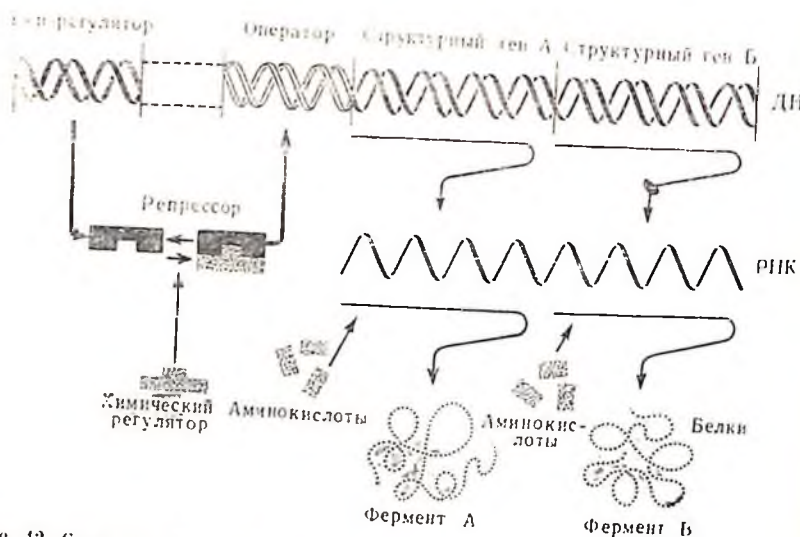


Рис. 12. Схема регуляции белкового синтеза

По этой схеме регуляция белкового синтеза осуществляется генетическим репрессором. Ген-регулятор контролирует синтез молекулы репрессора, который связан с метаболитом, играющим роль регуляторного сигнала. В активном состоянии репрессор соединяется с геном-оператором, что ведет к выключению структурных генов, под контролем которых протекает синтез данной группы ферментов

белков в клетке «лпхорадит», наблюдается беспорядочный, безудержный синтез белков. Но ответ на этот вопрос — дело будущего.

Многое в работе ДНК и РНК еще требует выяснения. Так, например, отрезки цепочки ДНК, определяющие блок гена, располагаются друг за другом, и, следовательно, вдоль хромосомы «должна» тянуться нить ДНК. Но в клетке хромосомы во много раз толще. Как уложены в хромосоме нити ДНК и хромосомные белки, пока неизвестно. Мы знаем также, как синтезируется РНК и почему это происходит на определенном гене. Назовем синтез РНК прямой связью. А вот как осуществляется обратная связь, что заставляет определенный ген ускорить или замедлить его работу и т. п., этого мы еще не знаем. Но узнаем и, вероятно, в ближайшем будущем. В этом направлении советские ученые занимают передовые места. Биохимия нуклеиновых кислот, а следовательно, и молекулярная биология многим обязана Н. К. Кольцову, В. А. Энгельгардту, А. Н. Белозерскому, А. Е. Браунштейну, А. С. Спиринову.

Совсем недавно исследования А. А. Баева с сотрудниками дали возможность расшифровать строение валиновой (валли — одна из аминокислот) транспортной РНК, что можно считать открытием мирового значения. На рис. 7 представлена формула только трех звеньев этой РНК — нуклеотидов инозина, аденозина, цитидина, а всего их в молекуле 81. Точная последовательность нуклеотидов на всем протяжении длинной цепи молекулы установлена А. А. Баевым и его сотрудниками.

Таким образом, советской наукой сделан еще один важный шаг к познанию «живой системы». Но что такое «живая система»? Можно ли говорить о синтезированном белке или нуклеиновой кислоте, что они «живые», можно ли биополимер называть «живым»? Пока еще нет. Если синтезированный инсулин обладает свойствами природного инсулина и может быть использован для лечебных целей, то «живым» его все же назвать нельзя. Ведь молекулы белка и ДНК или РНК — это только составные части живой системы. Попробуем смешать их в пробирке — проявлений жизнедеятельности не наблюдается. Жизнь начинается на более высоком уровне, когда все эти составные части вступают в сложные и, что самое главное, саморегулирующиеся отношения. Советский ученый А. А. Ляпунов определяет живую систему как «высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки информации, кодируемую состояниями отдельных молекул». Это очень похоже на то, что мы наблюдаем в клетках, из которых состоит наш организм. И простейшей живой системой, еще не исследованной полностью, остается пока живая клетка. Многие стороны ее жизнедеятельности еще не изучены. Но нет никаких сомнений, что полная разгадка сущности жизни близка.

Итак резюмируем сказанное о нуклеиновых кислотах: ДНК, расположенная в хромосомах, — основное генетическое вещество, ответственное за передачу наследственной информации.

Чем же занимаются РНК? Информационная (матричная) РНК является переносной матрицей. Синтезируясь в ядре и переходя к рибосомам, она копирует код, которым записана наследственная информация в ДНК хромосом. Подкладкой для нее служит рибосомная РНК. И, наконец, транспортная РНК, присоединяясь к активированным аминокислотам, осуществляет на матрице их сборку — синтез белка.

Ключи жизни — ферменты

Всякое химическое превращение связано с качественным скачком — исчезают одни вещества, получают другие. Конечно, очень важно знать, какие вещества вступают в реакцию и какие получаются в результате реакции. Но если мы стремимся воздействовать на химические превращения, хотим научиться управлять этим процессом, нужно знать, как он происходит, каков механизм перехода одних веществ в другие.

Все химические превращения протекают во времени. Одна из наиболее важных особенностей этих реакций — их скорость. Скорости различных химических реакций очень сильно отличаются: взрыв происходит в миллионные доли секунды, железо ржавеет от действия влаги в течение нескольких часов, а на химические процессы образования каменного угля требуются миллионы лет.

От чего же зависит скорость химической реакции? Чтобы возникла химическая реакция, молекулы взаимодействующих веществ должны столкнуться друг с другом. Чем чаще происходят такие столкновения, тем быстрее идет реакция. Чем больше молекул в одном и том же объеме, т. е. выше их концентрация, чем быстрее они движутся (скорость движения молекул возрастает с повышением температуры), тем больше скорость реакции. Но скорость химической реакции может увеличиться и под влиянием некоторых веществ. Такие вещества называются катализаторами. Воздействие катализаторов, ускоряющих или замедляющих скорость химической реакции как бы одним своим присутствием¹, называют катализом.

¹ Раньше считали, что действие катализатора состоит только в его присутствии. Некоторые ученые склоняются теперь к мысли, что не только

Если все реагирующие вещества и катализатор находятся в растворенном состоянии, катализ называют гомогенным. Но реакции с участием ферментов (мельчайших частиц белка) протекают в условиях, когда между ними и растворенными реагирующими веществами как бы имеется граница раздела. В этом случае катализатор — твердые частички, а реагирующие вещества — жидкие. Такой катализ называют гетерогенным.

Как объяснить каталитическое действие? Прежде всего необходимо помнить, что сталкивающиеся молекулы могут вступить в химическую реакцию, если к моменту столкновения они обладают достаточной энергией. Ту энергию (вернее избыток над средней энергией молекулы), которой должны обладать вступающие во взаимодействие частицы, называют энергией активации. При ускорении химической реакции с помощью катализатора создаются такие условия, при которых взаимодействие веществ требует меньшего избытка энергии. Следовательно, катализатор снижает энергию активации. Чем больше понижение энергии активации, тем действеннее катализатор.

Явление катализа еще не получило полной разгадки, но можно допустить, что катализатор вступает с реагирующими веществами в химическое взаимодействие, образуя «промежуточные продукты». Реакция идет как бы по кругу, и катализатор участвует в этом процессе. Благодаря такому обходному пути реакция намного облегчается, а «промежуточные продукты» требуют меньшей энергии активации: они не только легко образуются, но и легко распадаются, при этом катализатор восстанавливается.

Существуют и другие теории, объясняющие механизм действия катализатора. Все они в известной степени дополняют одна другую.

Катализаторы могут не только ускорять (положительный катализ), но и замедлять течение химических реакций (отрицательный катализ). Для биологических катализаторов — ферментов особенно хорошо изучен положительный катализ.

Итак, катализаторы-ферменты ускоряют (или замедляют) ход уже начавшейся химической реакции. Впрочем,

фермент изменяет состояние субстрата (вещества, химические превращения которого он вызывает), но и субстрат изменяет состояние фермента.

по мнению некоторых ученых, ферменты обладают способностью и «начинать» эти реакции. Очень важно также то, что фермент настолько повышает скорость какой-либо одной реакции, что она идет по определенному пути. Другими словами, фермент препятствует побочным реакциям и определяет направление, по которому идет «главная» химическая реакция. Это очень важное свойство ферментов, о котором еще будет идти речь ниже.

Учение о ферментах

В живой природе действуют биологические катализаторы. Их называют ферментами, или энзимами. Термин «фермент» (от латинского «ферментум» — бродило, закваска) был предложен голландским ученым Ван Гельмонтом в начале XVII в. Изучая алкогольное брожение, он назвал ферментом неизвестную ему причину этого процесса. Несколько позднее английский естествоиспытатель Уильямс предположил, что фермент — это вещество, обладающее способностью переносить свое внутреннее движение на сбраживаемое вещество. В конце XVIII в. Фобронн определил брожение как разложение одного вещества другим. Но все это были малообоснованные догадки, не подкрепленные фактами. Даже когда Спалланцани в 1783 г. открыл, что под действием желудочного сока хищных птиц мясо разжижается, он не сумел объяснить это явление. Только в начале прошлого столетия шведский химик Берцелиус, подметив сходство между ферментативными превращениями сахара при брожении и явлениями катализа, предположил (пока еще только теоретически), что ферменты являются катализаторами таких жизненных процессов, как алкогольное брожение. Именно Берцелиус назвал явление ускорения реакций катализом. Таким образом, катализ, ставший одним из самых могучих средств в руках современных химиков, без знания которого достижения современной промышленности были бы немыслимы, начал свое победное шествие в науке одновременно с учением о ферментах.

Для ферментов этот путь с самого начала был тернистым. В первой половине прошлого столетия Кирхгофу удалось выделить фермент из ячменного солода. В это же время были найдены и другие ферменты: эмульсин в горьком миндале, пепсин в желудочном соке, трипсин в соке

поджелудочной железы. Несмотря на это, природа их еще долгое время представляла загадку, раскрытие которой затянулось на долгое время из-за неудачи, постигшей генерального французского ученого Луи Пастера.

Изучая широко распространенный в природе ферментативный процесс алкогольного брожения, Пастер пришел к правильному выводу о том, что «брожение есть жизнь без воздуха, без свободного кислорода». Но как ни пытался ученый выделить из живых дрожжевых клеток фермент брожения — это ему не удалось. Таким образом, Пастер не сумел доказать, что брожение без живых дрожжевых клеток возможно. Эту неудачу Пастера использовали виталисты — сторонники реакционного учения, согласно которому в живых организмах присутствует таинственная жизненная сила (по латыни — «виг виталис»). Виталисты отрицали возможность существования ферментов как самостоятельных химических веществ. Отголоски виталистических взглядов на природу ферментов звучат в наши дни в высказываниях отдельных буржуазных ученых.

Нелепость подобных взглядов можно было доказать, выделив ферменты из дрожжевых клеток. Это впервые удалось русской исследовательнице М. М. Манассеиной, а затем немецкому ученому Э. Бухнеру. Манассейна растирала дрожжи с горным хрусталем. Бухнер — с кварцевым песком, отжимал под большим давлением. В обоих случаях был получен сок, обладающий способностью сбраживать сахар, т. е. содержащий ферменты. Так был открыт путь для изучения ферментов как химических веществ. Но и тут ферментам «не повезло». После исследований Манассеиной многие ученые все же продолжали считать ферменты, выделяемые клетками, чем-то принципиально отличным от внутриклеточных ферментов, для которых было предложено особое название: «энзимы».

В начале XX в. изучением ферментов занялся блестящий химик—органик Р. Вильштеттер. Ученый сделал очень много для выявления свойств ферментов, но сделал глубоко ошибочный вывод, что ферменты не принадлежат ни к одному из известных науке классов органических соединений.

Белковая природа ферментов

Вильштеттер пришел к неправильному заключению, не обратив должного внимания на труды таких выдающихся русских ученых, как А. Я. Данилевский и И. П. Павлов, содержавшие ясные указания на белковую природу ферментов. Это обстоятельство вызывает удивление: к тому времени весь мир уже знал об открытиях И. П. Павлова, которые ознаменовали полный переворот в учении о пищеварении и пищеварительных ферментах. Наглядные опыты Павлова и его учеников показали, что содержание фермента всегда точно соответствует количеству белка: чем больше белка содержится в желудочном соке, тем выше ферментативная активность сока.

Но прошло немного времени, и взгляды Вильштеттера на непознаваемость ферментов были опровергнуты. Сначала американский биохимик Дж. Самнер, затем Д. Нортроп и другие исследователи получили ферменты (теперь их насчитывается около 70) в кристаллическом состоянии, т. е. в химически чистом виде, и доказали, что все эти ферменты являются белками. Таким образом, учение о ферментах из области догадок перешагнуло в сферу точного исследования. В настоящее время термины «фермент» и «энзим» используются как однозначные, так как установлено, что никаких различий между внутриклеточными и внеклеточными ферментами нет.

Установление белковой природы ферментов¹ — факт принципиальной важности. Еще со школьной скамьи все мы помним первое научное определение жизни, данное Ф. Энгельсом: «Жизнь есть способ существования белковых тел» (Анти-Дюринг, 1950, стр. 77). В то время о белковой природе ферментов не было известно ничего — тем замечательнее сила научного предвидения Энгельса: белок — основа жизненных процессов, важнейшая составная часть живого вещества, без которого не могут осуществляться в организме химические превращения. Разгадка сущности жизни зависит в первую очередь от решения

¹ В живом организме имеются и другие соединения, влияющие на скорость химических превращений. К ним относятся витамины, гормоны и некоторые другие вещества небелковой природы. Следовательно, эти вещества наряду с белками-ферментами можно считать биологическими катализаторами. Но каталитическая активность белков-ферментов значительно выше.

проблемы белка. Белки играют огромную роль в вопросах питания человека, кормления сельскохозяйственных животных, медицине, пищевой промышленности, но главное то, что все ферменты являются белками. Тысячи химических реакций живого организма, огромное число непрерывно осуществляющихся в нем химических превращений протекает при участии ферментов — вот почему жизнь без этих биологических катализаторов невозможна.

Ферменты — биологические катализаторы

Какие же свойства ферментов делают их основой жизни? В первую очередь, конечно, их каталитические свойства — способность резко изменять (обычно в сторону повышения) скорость химических превращений одним своим присутствием в самых незначительных количествах. Это обстоятельство резко отличает биологические катализаторы от химических, несмотря на то, что катализатор, применяемый в химии, берется в очень малых количествах по сравнению с количествами катализируемых им веществ. Для разложения перекиси водорода на воду и кислород достаточно буквально следов трехвалентного железа. Но ту же реакцию может катализировать фермент каталаза, причем активность этого фермента в 20 млн. раз больше каталитической активности железа. Другими словами, если взятое количество перекиси водорода в присутствии железа разложится на воду и кислород за две секунды, то в присутствии фермента скорость химической реакции возрастает настолько, что на это уйдет лишь одна десятимиллионная часть секунды. Значит, скорость химической реакции можно измерить по количеству вещества, разложившегося (или образовавшегося) за одну секунду. Чем больше скорость реакции, тем большее количество продуктов она может дать.

Высокая активность весьма характерна для биологических катализаторов, действующих в живых организмах, в которых идет непрерывный обмен веществ. По данным некоторых исследователей, каждая молекула фермента в течение 2 сек. при температуре 37° может привести в действие около 500 молекул вещества, на которое она действует. Можно смело утверждать, что жизни не было бы, не будь необычайной скорости, с которой в организмах совершаются реакции химических превращений.

Современной химии известны все эти реакции. Они не так уж сложны и довольно однообразны — окисление, восстановление, расщепление с присоединением воды (гидролиз) и т. д. Каждую из этих реакций можно осуществить в лаборатории, но не с такой скоростью, как это происходит в клетках и тканях организма. Дело в том, что живые существа в основном образованы из органических веществ. К ним относят белки, жиры, углеводы и т. д., которые входят в состав пищи человека и подвергаются разложению в пищеварительных органах. Из обломков молекул органических веществ наш организм воссоздает новые молекулы, которые ему необходимы для поддержания процессов обмена, для роста и т. д.

С точки зрения химика, органические соединения отличаются от неорганических не только тем, что в основе первых лежит элемент углерод, но и некоторыми другими свойствами. Одна из самых характерных особенностей — это то, что молекулы органических соединений химически инертны: их трудно побудить к химическим реакциям. Конечно, химик может «подхлестнуть» эти соединения, но ему придется прибегнуть в этом случае к действию высокой температуры, большого давления или же крепких кислот. Так как высокие температуры, давление и крепкие кислоты немыслимы в клетках живого организма, на сцену выступают ферменты, обеспечивающие необходимые скорости химических превращений.

Миллиарды лет тому назад в процессе становления жизни на нашей планете могли образоваться скопления органических соединений типа известных нам белков, но живыми они стали только после того, как возник первый фермент, обеспечивающий наибольшую скорость химических процессов. Фермент поднял химическое соединение — белок — на более высокую ступень, превратив ее в первое живое существо с характерным для него обменом веществ.

Такова «космическая» роль ферментов, если принять во внимание те изменения, которые произошли на нашей планете в результате проявления и развития жизни. Отметим, кстати, что ферменты так распространены в животном мире и среди микроорганизмов, что роль их действительно всеобъемлюща. Не следует думать, что ферменты «специализировались» только на органических веществах. Можно с уверенностью сказать, что не только любое органическое вещество, но и многие неорга-

иические соединения, встречающиеся в природе, могут быть получены или расщеплены в результате действия фермента. Химические превращения могут быть обратимы: если какое-либо вещество подвергается распаду, то при определенных условиях продукты распада могут, соединяясь, образовать исходное вещество. Другими словами, эта реакция может протекать как в прямом, так и в обратном направлении. Направление реакции зависит главным образом от количества (концентрации) начальных и конечных продуктов химической реакции. Как и обычные катализаторы, ферменты ускоряют как прямую, так и обратную реакцию.

Влияние температуры на ферменты

Как было сказано выше, ферменты — специфические белки, т. е. высокомолекулярные соединения. Остановимся на некоторых свойствах таких соединений.

Характерная особенность ферментов — их чувствительность к температуре, особенно к высокой температуре (выше $70-80^{\circ}$). Такое свойство ферментов не кажется неожиданным: все ферменты — белки, которые сильно изменяются под действием высокой температуры. Это легко подтвердить примером из повседневной практики — нагреванием куриного яйца.

Чувствительность к нагреванию у ферментов проявляется чаще всего следующим образом: до температуры $40-50^{\circ}$ повышается способность ферментов ускорять химические реакции, т. е. катализировать их. Дальнейшее нагревание начинает снижать активность. Большую роль играет также и длительность нагревания. Нагревание выше 90° обычно ведет к катастрофическим результатам: ферменты полностью утрачивают свои каталитические свойства, так разрушается белок, входящий в состав фермента. В этой схеме имеются и некоторые исключения. Так, например, содержащийся в мышцах фермент — миозин — легко выдерживает нагревание до 100° . На некоторые ферменты нагревание действует временно, лишая их активности. После прекращения нагревания такой фермент может восстановить утраченные каталитические свойства.

Для каждого фермента существует оптимальная, наиболее благоприятная для его деятельности температура.

Естественно, что для ферментов в организме теплокровных животных наиболее благоприятна температура тела животных — 37—40°. Различные ферменты относятся к повышению температуры по-разному, что сумели использовать химики и врачи. Устойчивость рибонуклеазы к действию температуры позволила химикам отделить этот фермент от примесей других ферментов и получить в чистом виде. Фермент лактикодегидрогеназа, содержащийся в мышце нашего сердца, устойчивее к температуре, чем тот же фермент из печени. В некоторых случаях это обстоятельство помогает врачам решить вопрос: с каким заболеванием они имеют дело — сердца или печени?

Активность ферментов влияет на всю жизнедеятельность организма. Это легко иллюстрировать жизнью растений: зимой деятельность ферментов резко снижается (снижается обмен веществ, и растение впадает в состояние покоя), а весной по мере потепления ферменты делают все более и более активными, повышая тем самым и процессы жизнедеятельности растительного организма.

Чувствительность ферментов к температуре создает интересные перспективы для управления ходом химических реакций в живом организме не только растений, но и животных. Для работников сельского хозяйства, например, очень важно знать, при каких температурах в растениях идет наиболее активное образование крахмала ферментами. В наши дни хирурги искусственно охлаждают больного перед операцией, вызывая у него состояние, подобное зимней спячке, чтобы замедлить деятельность ферментов, понизить обмен веществ и тем предотвратить кислородное голодание, грозящее жизни больного¹.

¹ Благодаря своеобразному приспособлению температура человека поддерживается постоянной и холод, возбуждая нервную систему, вызывает повышение обмена веществ и выработки тепла. Чтобы охладить тело больного, врачи тормозят нервную систему действием наркотиков и одновременно охлаждают тело извне. В этом случае наглядно проявляется регулирующее влияние центральной нервной системы (головного мозга и в первую очередь его коры) на активность ферментов в организме человека. Зависимость действия ферментов от нервной деятельности доказана многочисленными опытами и наблюдениями. Так, например, повышение нервной деятельности как умственное напряжение увеличивает активность ферментов, расщепляющих белки. Поэтому даже напряжение, которое испытывает учащийся перед экзаменами, усиливает расход белка в его организме.

Действие кислот и щелочей на ферменты

Ферменты очень чувствительны также к степени кислотности среды. Одни ферменты обладают наибольшей активностью при слабнокислой реакции, другие при слабощелочной или нейтральной. Это свойство ферментов позволяет легко представить, например, процесс пищеварения.

Пища, как известно, прежде всего попадает в полость рта, где она пережевывается зубами и смачивается слюной. Реакция слюны почти нейтральная. Именно при такой реакции проявляется наибольшая активность фермента, который содержится в слюне.

Этот фермент — пتيالлин (амилаза) — действует только на углеводы, в основном на крахмал. Поэтому в полости рта начинается ферментативное переваривание только углеводистой части пищи.

Из полости рта пища попадает через пищевод в желудок. Здесь выделяется желудочный сок, представляющий собой чрезвычайно кислую жидкость, равной которой по кислотности в живом организме нет. Сок содержит фермент — пепсин, проявляющий максимум активности только при кислой реакции среды. Фермент этот расщепляет белки, но не действует на углеводы. Что же происходит в желудке? Кислый сок, выделяющийся из специальных желез в стенках желудка, постепенно пропитывает пищу, расщепляя главным образом белки. Углеводы (крахмал) перевариваются под влиянием ферментов слюны, попавшей в желудок вместе с пищей. Однако в присутствии кислого желудочного сока ферменты слюны перестают действовать. Поэтому расщепление углеводов в желудке практически приостанавливается и происходит лишь в тех участках желудка, куда не проник кислый сок.

По мере переваривания пища постепенно поступает из желудка в тонкие кишки. Начальный отрезок этих кишок называют двенадцатиперстной кишкой. В нее впадают два протока большой пищеварительной железы — поджелудочной, расположенной под желудком. Эта железа выделяет сок, который содержит ферменты, действующие уже на все три основные группы питательных веществ — белки, углеводы и жиры.

Поджелудочный сок представляет собой щелочную жидкость, и содержащиеся в нем разнообразные ферменты

проявляют наибольшую активность при щелочной реакции.

Величину кислотности или щелочности принято обозначать условным знаком рН. Для каждого фермента существует «любимая» им (т. е. наиболее благоприятная для его действия) величина рН. Этим обстоятельством пользуются ученые, когда хотят отделить друг от друга различные ферменты.

Специфичность действия ферментов

Ферменты иногда называют «ключами жизни», для этого имеется несколько оснований, из которых главным является специфичность действия ферментов. В чем она выражается? В том, что каждый фермент действует лишь на вполне определенное вещество или же на определенный тип химической связи в молекуле: фермент должен подходить к молекуле, как ключ к замку. Это очень важное свойство ферментов, пожалуй, такое же, как и то обстоятельство, что все ферменты являются белками. Поэтому ферменты и называют специфическими белками-катализаторами.

Химики тоже пытаются подобрать для каждой каталитической реакции, осуществляемой в лаборатории, наилучший катализатор. Но, в отличие от живого организма, в лаборатории многие химические реакции могут катализироваться различными катализаторами или же один катализатор используется для ускорения различных химических реакций. Не то мы наблюдаем в живом организме: здесь определенный фермент ускоряет только какую-либо определенную реакцию или небольшой круг сходных по типу химических реакций.

Это дало возможность внести определенный порядок в наименование многочисленных ферментов, известных в настоящее время¹. Так, например, очень большую группу

¹ В настоящее время биохимики стараются в названии фермента отразить механизм его действия. Мы воздержались от этого, поскольку, например, вместо «алкоголь-дегидрогеназа» пришлось бы привести название: «алкоголь-никотинамид-аденин-динуклеотид-трансгидрогеназа», что, конечно, сделало бы невозможным союз биохимиков популярное изложение. Ограничимся указанием ферментов на классы: 1) оксидоредуктазы, катализирующие процессы биологического окисления; 2) трансферазы, переносящие группы атомов; 3) гидролазы, катализирующие расщепление с присоединением

ферментов, ускоряющих гидролиз органических соединений на более простые, именуют гидролазами. В группе гидролаз в свою очередь различают несколько подгрупп. Ферменты одной из этих подгрупп вызывают расщепление белков (протеннов) при участии воды и их называют протеиназами, или протеолитическими ферментами. Из широко известных протеиназ упомянем следующие: пепсин, входящий в состав желудочного сока и способствующий перевариванию мяса и других белков в желудке; трипсин — фермент, довершающий в кишечнике переваривание белков, начавшееся в желудке; катепсин — расщепляющий белки в тканях человека или животных; папаин — фермент растительного происхождения, получаемый из млечного сока плодов дынного дерева, завезенного к нам из Америки и уже культивируемого в Грузии.

Вторую группу гидролаз составляют карбогидразы — ферменты, под влиянием которых происходит присоединение воды к углеводам (карбогидратам) с последующим расщеплением их на более простые углеводы. Сюда относится фермент сахараза, или инвертаза, под действием которого молекула обычного тростникового или свекловичного сахара присоединяет частицу воды и распадается на более простые сахара: виноградный (глюкозу) и плодовой (фруктозу). К карбогидразам относится и впервые открытый Кирхгофом фермент амилаза (птиалин), катализирующий гидролитический распад крахмала (по латыни «амилум») с образованием более простых углеводов-декстринов и солодового сахара (мальтозы).

Действие амилазы нам известно из повседневной жизни не только потому, что амилаза содержится в слюне, под влиянием которой углеводы пищи начинают перевариваться уже в полости рта. Амилаза, в частности, играет большую роль и в растениях, где под ее воздействием крахмал, выполняющий роль запасного пищевого вещества, превращается в более простой по составу солодовый сахар — мальтозу, используемую в процессах обмена веществ в растительном организме.

воды; 4) лиазы, отщепляющие (или присоединяющие) различные группы без участия воды; 5) изомеразы, превращающие одно в другое сходные («изомерные») соединения и 6) лигазы, связывающие друг с другом две молекулы при разрыве связи в некоторых соединениях фосфорной кислоты.

Третью подгруппу гидролаз составляют эстеразы, под влиянием которых сложные эфиры (эстеры) присоединяют воду и распадаются на более простые составные части. Главное значение эстераз в животном организме в том, что они катализируют распад жиров на глицерин и соответствующие жирные кислоты.

Кроме гидролаз большую роль в химических превращениях в живой природе играют и ферменты, относящиеся к другим группам: они ускоряют расщепление многих веществ (сахар и др.) на более простые соединения (а также обратные реакции синтеза), перенося различные группировки атомов с одного соединения на другое, катализируют многообразные реакции окисления и восстановления, наблюдаемые в живом организме (такие реакции, например, лежат в основе дыхания и брожения).

Большая специфичность ферментов — явление весьма примечательное. Она проявляется и в действии ферментов на так называемые оптически активные вещества. Что представляют собой эти вещества? Еще Пастер заметил, что оптически активные вещества, находящиеся в растворе, выделяются в таких кристаллах, которые представляют зеркальное изображение друг друга (правовращающая и левовращающая формы). Молекулы этих веществ не отличаются друг от друга ничем, никакими физическими или химическими свойствами, кроме одного: если одна вращает плоскость поляризованного луча света вправо, то другая — влево. Но ферменты оказываются настолько разборчивыми, что этого ничтожного различия для них достаточно. Так, например, ферменты алкогольного брожения сбрасывают только правовращающие формы виноградного или плодового сахара и совершенно не затрагивают левовращающие формы сахаров, хотя физические и химические свойства этих форм одинаковы.

Такую же разборчивость проявляют ферменты, когда катализируют синтез различных веществ. Пастер пришел к выводу, что основная особенность живого вещества — способность к синтезу оптически активных органических соединений. Таким образом это свойство ферментов приобретает очень важное значение для науки о жизни. Именно оно дало повод сравнить фермент и субстрат с ключом и соответствующим замком.

Пожалуй, самое удивительное — специфичность действия ферментов, осуществляющих синтез белков — перво-

основы всего живого. В главе о белках и пуклепновых кислотах мы упоминали об этом синтезе. Но здесь необходимо подчеркнуть необычайную способность участвующих в синтезе ферментов «узнавать» одну аминокислоту среди двух десятков прочих. Более того, они могут распознавать соответствующую РНК по меньшей мере среди 20 ее разновидностей.

Исключительная разборчивость ферментов представляет интерес не только для биолога или врача. Ферменты — прежде всего катализаторы, а катализ имеет огромное значение в современной промышленной химии. Несмотря на это, катализаторы, которыми пользуются химики, очень часто оставляют желать лучшего. Конечно, поведя наступление широким фронтом и изучив свойства десятков тысяч веществ в поисках катализаторов, химики научились многому, но хорошо обоснованного, подлинно научного метода, пользуясь которым можно было бы легко и просто подбирать наиболее специфичный и экономичный катализатор, пока еще не имеется.

Творчески копировать природу, работать по ее патенту — вот путь, который открывается перед химиками. Примеров плодотворного воспроизведения природных процессов в современной технике много. Достаточно вспомнить о самолетах без пилотов, самолетах-снарядах, в основу управления которыми положен принцип работы глаза бабочек и других насекомых.

Но как расшифровать этот патент? Что может подсказать технике паука о ферментах? Как, копируя природные соединения, найти пути научного подбора катализаторов? Мы знаем, что ферменты являются белками, а белки — высокомолекулярными органическими соединениями, строение которых в основном еще не выяснено полностью. Чтобы использовать в промышленной химии высокую специфичность ферментов для получения строго специфичных катализаторов, не обладающих побочным действием, надо ясно понимать, на чем основана эта специфичность, избирательность отношения ферментов к веществам, на которые они действуют.

Как построена молекула фермента

Чтобы установить строение фермента, надо сначала изучить строение белков-ферментов, а для этого необходимо иметь белки в совершенно чистом виде, уметь выделить их из разных органов и тканей. Это очень трудное дело. В отличие от других химических соединений, для которых получение их в кристаллическом виде является гарантией их чистоты, белки-ферменты весьма прихотливы и «коварны». Исследователь, радовавшийся тому, что получил фермент в виде кристаллов определенной формы, с горечью убеждался в дальнейшем, что эти, казалось бы, совершенно однородные кристаллы представляют смесь из двух и более различных ферментов. В этом сказываются особые свойства белков, не похожих на все остальные вещества, в частности, своей способностью кристаллизоваться с другими веществами и друг с другом. Кристаллическое состояние не всегда является верным признаком чистоты белка-фермента. И все же эти трудности можно преодолеть с помощью тончайших способов разделения и очистки.

В настоящее время удалось получить ряд ферментов в химически чистом виде и изучить их строение. Подтвердилось мнение ученых, считавших, что все белки состоят из остатков аминокислот, соединенных при помощи пептидных связей в виде цепей. Молекулы одних белков-ферментов состоят из одиночной цепи, других — из нескольких цепей. Выяснилось, что многие ферментные белки отличаются друг от друга по количеству и природе образующих их аминокислот. В то же время многие ферментные белки имеют один и тот же набор аминокислот, и величина их молекул почти одинакова. Чем же отличаются друг от друга такие ферментные белки? В чем лежит причина их разного, всегда специфического отношения к субстратам?

Одно из важнейших достижений последних лет — выяснение того обстоятельства, что специфичность ферментных белков зависит от порядка чередования в них аминокислот, из которых складывается пептидная цепь. Таким образом удалось не только установить, что молекула фермента рибонуклеазы состоит из 124 аминокислотных остатков, образующих одну пептидную цепь, но как именно аминокислоты образуют эту цепь и в какой последовательности чередуются друг с другом. Удалось также выяснить, что специфичность фермента зависит не только от того, как расположены аминокислоты в его молекуле.

В каждом ферменте имеется своего рода активный центр — небольшой участок пептидной цепи с характерным для него порядком чередования аминокислот. Можно расколоть молекулу фермента, отбить от нее осколок активного центра, и этот осколок сохранит всю специфичность действия фермента. Такие опыты пока еще не удалось осуществить в больших масштабах, но главное сделано: снята завеса с явления непонятной до того разборчивости биологических катализаторов, делавшей их загадочными веществами. Не надо думать, что в молекуле фермента «работает» только небольшой ее кусочек — активный центр. К этому вопросу мы еще вернемся несколько позже. Отметим пока, что активный центр вызывает изменения определенного вещества — субстрата.

Кроме активного центра в молекуле фермента имеется уязвимое место — химическая группировка, которую могут блокировать самые разнообразные вещества, не имеющие никакого родства с субстратом, на который действует активный центр. Блокируя эту группировку (ученые называют ее «аллостерической»), вещества могут воздействовать на общее строение белковой молекулы — ее конформацию — и тем самым регулировать деятельность активного центра, т. е. основную работу фермента. Самое интересное здесь в том, что среди таких веществ встречаются гормоны — возбуждители и регуляторы деятельности важнейших органов нашего тела.

Если это так, то мы находимся на подступах к переводу на язык химических понятий (другими словами, к полной расшифровке) таких функций нашего тела, как рост и созревание, половое развитие и размножение, и многих других процессов, которыми ведают гормоны. А отсюда «два шага» до искусственного воссоздания этих процессов.

«Аллостерия» — прекрасный пример того, как замечательно «отрегулировали» химические процессы в нашем теле (да и во всей живой природе) ферменты, катализирующие химические превращения субстрата — назовем это живой системой. Получается, что работа регулируемой живой системы зависит от результатов ее же собственной деятельности. Предположим, что живая система состоит из целого ряда химических реакций, каждая из которых катализируется особым ферментом. Конечный продукт не имеет ничего общего с начальным субстратом, но он может блокировать действие «начального» фермента, катализи-

рующего первую реакцию в цепи данной живой системы. Как назвать это явление? На это может ответить и школьник — «обратной связью». Да именно той обратной связью, которая лежит в основе простого способа регуляции любой машины.

Ферментные белки — обычные органические соединения, специфичность действия которых зависит от особенностей их химического строения и пространственного расположения (структуры).

Нет правил без исключений, и высокая специфичность биологических катализаторов требует оговорок. Дело в том, что известны случаи, когда один и тот же фермент действует на несколько различных химических субстратов. Такие ферменты встречаются в пищеварительном тракте. Это и понятно. Пища содержит столько разнообразных веществ, что ферментам тут уже не до разборчивости — только успевай справляться со всеми! Но такие примеры сравнительно редки, и разборчивость ферментов, избирательность их действия остается пока наиболее характерным их свойством¹. Подчеркнем это «пока». Дело в том, что в последние годы ученые получили довольно неожиданные данные, несколько поколебавшие уверенность в специфичности действия ферментов.

Факторы, влияющие на активность ферментов

Со специфичностью действия ферментов хорошо согласуется еще одно обстоятельство. Оказывается, активность фермента можно повышать или, напротив, угнетать, подавлять и даже парализовать действием некоторых химических веществ, часто очень простых по составу. Такие активаторы и парализаторы (ингибиторы) действия ферментов могут быть очень специфичными, так, например, соль синильной кислоты резко повышает активность фермента папаина, но совершенно парализует действие дыхательного фермента.

¹ В живых организмах (в том числе и у человека) встречаются ферменты, которые могут действовать на вещества, совершенно не встречающиеся в природе. К таким веществам можно отнести многие лекарственные вещества и яды. Весьма вероятно, что устойчивость болезнетворных микробов к таким лекарственным веществам объясняется тем, что микроорганизмы вырабатывают специальные ферменты, разрушающие эти лекарственные вещества.

Такого рода явления играют большую роль в живом организме. Дело в том, что многие ферменты содержатся в тканях и клетках организма в совершенно неактивном состоянии, но в определенных условиях становятся активными. Это впервые показал И. П. Павлов и его ученики на примере ферментов пищеварения. Фермент желудочного сока пепсин делается активным после того, как его неактивная форма — пепсиноген — активируется соляной кислотой. Общее название неактивных форм ферментов — проферменты, или зимогены.

В здоровых железах желудка нет готового пепсина, а имеется недействительный пропепсин. Под влиянием нервной деятельности железы выделяют в полость желудка этот неактивный профермент, который под действием соляной кислоты желудочного сока тут же превращается в пепсин. Образовавшийся пепсин помогает соляной кислоте превращать пепсиноген в пепсин. Так происходит активирование фермента. Здесь роль активатора играет хорошо всем известная соляная кислота. Эта ее роль очень важна для нормального пищеварения в желудке.

Иногда активаторы ферментов еще проще по составу, чем соляная кислота. В некоторых случаях для проявления действия фермента достаточно присутствия небольших количеств кальция, марганца, кобальта. Амилаза, например, активируется в присутствии хлоридов. В других случаях для активирования фермента клетки нашего тела вырабатывают очень сложные по составу белковые вещества. Фактически такой активатор является ферментом фермента, так как катализирует действие его недействительной формы. Так, например, трипсин, расщепляющий в кишечнике белки, существует в клетках в виде неактивного трипсиногена, который активируется действием энтерокиназы.

Как представить себе сущность активации? В ряде случаев удалось установить, что возникновение активности зависит от первичной структуры белка. Возьмем тот же трипсиноген. Он неактивен. Но вот от его полипептидной цепочки (первичной структуры) отщепляется отрезок, состоящий из шести «кирпичиков» — остатков аминокислот. И сразу же проявляется ферментативная активность — трипсиноген становится настоящим трипсином. Чем это можно объяснить? Оказывается, что после «ампутации» первичной структуры соответствующий участок полипептидной цепочки начинает закручиваться в спираль, в ре-

зультате чего и появляется ферментативная активность. Следовательно, первичная структура «знает», как образовать активный центр в «полноценном» белке-ферменте и свое знание (информацию) автоматически передаст вторичной и третичной структуре белка-фермента. Теперь понятно, что природа не так расточительна, как это казалось лет десять тому назад. Ученые тогда недоумевали: если активен только кусочек молекулы фермента, то чему служит вся остальная ее часть? Не является ли она лишней? Оказывается нет. Для осуществления синтеза определенного белка-фермента необходима вся его «полноценная» молекула, так как в ней заключена информация, необходимая для правильного построения новой молекулы с характерными для нее активными центрами.

Действие активаторов и ингибиторов играет большую роль в регулировании ферментативных реакций в протоплазме клетки. Наряду с этим активность ферментов в живой клетке регулируется и другим путем. Было установлено, что ферменты могут связываться с другими белками и снова освобождаться из таких соединений. Связываясь, ферменты теряют свою активность, освобождаясь, — восстанавливают ее. А так как протоплазма клетки состоит из белков, то регулирование деятельности ферментов во многом зависит от способности их оседать на белковых частичках протоплазмы и освобождаться от них (рис. 13).

Очевидно, многие ферменты в живой клетке находятся в виде проферментов. Иначе нельзя было бы понять, каким образом «волки и овцы» — фермент и субстрат, на который он должен действовать, — мирно уживаются друг с другом в живой клетке. Так, например, в любой растительной клетке нетрудно обнаружить крахмал и рядом с ним амилазу, фермент, который расщепляет крахмал. Возможно также, что между ферментом и субстратом в живой клетке имеются какие-либо пространственные ограничения.

Здесь могут играть роль антиферменты — вещества, прекращающие или задерживающие действие какого-нибудь фермента. Природа антиферментов пока не выяснена: известно только, что каждый из них задерживает действие определенного фермента. Так, например, выделившийся в нашем желудке пепсин не переваривает клетки «своего» желудка, но если мы будем есть желудок какого-либо животного, «наш» пепсин будет переваривать его клетки. Очевидно, в клетках желудка содержится антипепсин, мешаю-

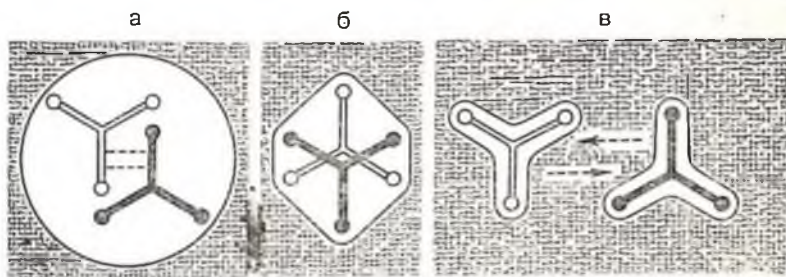


Рис. 13. Схема регуляции действия ферментов

Три возможных варианта регуляции: а — молекула регуляторного сигнала (структура белого цвета) соединяется с субстратом (структура черного цвета), непосредственно участвуя в химической реакции, которую он регулирует; б — молекула-сигнал встает на пути субстрата, не допуская его к активному центру фермента; в — молекула-сигнал и молекула субстрата соединяются с центром на поверхности фермента

щий перевариванию их собственным пепсином. Это же можно допустить и в отношении других пищеварительных желез и кишечной стенки, устойчивых к действию «своих» ферментов.

Для упомянутого выше фермента трипсина известен антифермент — антитрипсин. Соединяясь с трипсином, ингибитором которого он является, антитрипсин предохраняет поджелудочную железу от самопереваривания¹. Антитрипсин имеется у глистов, живущих в кишечнике человека. Благодаря ему глисты не перевариваются трипсином поджелудочного сока, изливающегося в кишечник. Антитрипсин встречается и в сыворотке крови. Если ввести в организм прямо в кровь какой-либо фермент, то в нем образуется соответствующий антифермент, например, антикаталаза или антиуреаза. Очевидно, антиферменты защищают организм от чуждых ему ферментов, в том числе и ферментов болезнетворных бактерий. В этом случае антиферментам дают общее название — антитела.

¹ Можно допустить и другое объяснение. Известно, что некоторые ферменты присутствуют в клетке в неактивной, «замаскированной» форме. Когда организм погибает, его клетки подвергаются саморазрушению — «автолизу». В этом случае с ферментов как бы спадает маска, и они становятся активными. К сожалению, такое явление может произойти и в живом теле с катастрофическими для него последствиями: например, при некрозе поджелудочной железы, вызываемом самоактивацией пищеварительных ферментов.

Ферменты широко распространены в живой природе. Практически они содержатся во всех живых и растительных тканях. Это позволяет предположить, что все белки организма могут быть ферментами. Такой взгляд подтверждает открытие советских ученых В. А. Энгельгардта и М. Н. Любимовой (1939). Как известно, наиболее важной составной частью мышц (не считая воды) являются белки. Главным белком мышц, обуславливающим их способность сокращаться, является миозин. Но оказалось, что миозин одновременно является и ферментом, который катализирует химическую реакцию, доставляющую необходимую для сокращения энергию. Такое «самоснабжение» энергией — факт, весьма примечательный. Вполне вероятно, что все белки — ферменты, но не для всех белков выявлены их ферментативные свойства. Возможно, что все или почти все белки приобретают каталитические свойства, т. е. становятся ферментами в определенных условиях.

Различия между отдельными ферментами сказываются и в том, что они могут быть простыми и сложными белками. Для простых белков характерно то, что при расщеплении из них не удается получить ничего, кроме аминокислот. Следовательно, их отличие друг от друга состоит в различном наборе и порядке чередования аминокислот в молекуле. К простым белкам относятся большая часть известных ферментов (протеазы, амплазы, карбогидразы, эстеразы). Некоторые ферменты помимо белка содержат еще более простые соединения, иногда одни и те же у различных ферментов. Так, например, в составе окислительных ферментов (к которым можно причислить и красящее вещество крови — гемоглобин) содержится органическое соединение железа. В состав других ферментов входят медь, цинк, марганец, ванадий, хром, сера. Таким образом, эти ферменты являются сложными белками — протеидами, содержащими небелковые, так называемые простетические группы. К протеидам относятся и фосфорилазы.

Простетические группы не всегда содержат металлы. Выдающийся советский ученый Н. Д. Зелинский предположил, что в состав ферментов могут входить такие широко известные соединения, как витамины. Предположение ученого блестяще подтвердилось в отношении почти всех витаминов. Это очень важное обстоятельство, помогающее понять физиологическую роль витаминов.

В роли простетических групп могут выступить и другие

органические соединения. Все небелковые части ферментов удобно называть коферментами. Белковую часть молекулы фермента принято называть носителем, а простетическую группу — активной группой. Необходимо, однако, помнить, что характер, специфичность и само действие фермента зависит главным образом от природы белкового носителя, соединенного с активной группой. Другими словами, от носителя зависит, на какое именно вещество действует фермент: на углеводы, жиры, белки или на какие-нибудь другие вещества.

Как уже было упомянуто выше, ферменты играют важнейшую роль в обмене веществ — этом сложном непрерывно протекающем в живом организме процессе, с прекращением которого прекращается существование живого организма.

Сложность химических процессов обмена веществ в живых организмах хорошо иллюстрируется тем фактом, что в них участвуют самые различные соединения: вода, минеральные соли, жиры и жироподобные вещества, углеводы, витамины, гормоны, белки. В центре всех химических превращений находятся белки-ферменты. Определяя скорость биохимических реакций, ферменты влияют и на их направленность. А ведь направление, по которому пойдет какое-либо вещество в процессах химических превращений обмена, зависит от того, по какому пути это вещество пойдет скорее. Благодаря избирательности действия решающая роль здесь принадлежит ферментам: ведь, как было упомянуто выше, из многих возможных химических реакций фермент ускоряет (во много раз) обычно лишь одну.

Таким образом, ферменты направляют и регулируют химические превращения обмена веществ в организме, обеспечивают его связь с внешней средой и приспособленность к ее условиям. Важную роль играет и то обстоятельство, что в процессах обмена веществ ферменты изменчивы, они могут возникать, изменяться, терять свои каталитические свойства.

Согласованность действия ферментов

Несмотря на большое количество ферментов или, как говорят, различных ферментных систем, тысячи ферментных реакций в живом организме протекают удивительно слаженно, в строго определенной последовательности.

Именно такая взаимозависимость и координация действия многочисленных ферментных систем обуславливают нормальное течение химических реакций в здоровом организме. Поэтому очень важно изучать не только действие отдельных ферментов, но и совокупность ферментных систем в целом. Здесь имеется ряд трудностей, которые постепенно преодолеваются. Мы уже можем себе до некоторой степени представить, как «работают», функционируют ферменты. Можно предположить, что сначала фермент соединяется с субстратом, образуется как бы промежуточное соединение, которое, распадаясь, дает уже конечный продукт реакции. Молекула самого фермента после этого восстанавливается, хотя иногда может подвергнуться частичному разложению.

Связь между действием двух (и многих) ферментов может осуществляться различными способами. Например, одно и то же вещество может быть общим субстратом для обоих ферментов или же конечный продукт, возникающий в результате действия одного фермента, может стать исходным субстратом действия другого фермента. Легко понять, что если одна из связанных вместе ферментных систем остановится, то остановится и другая. Причины такого нарушения деятельности ферментов могут быть различными. Например, взаимозависимость может обуславливаться и по линии субстратов (когда конечный продукт одной системы является начальным субстратом для другой) и по линии обеспечения энергией обеих ферментных систем (первая система может доставлять энергию, необходимую для функционирования второй). Полного объяснения действия ферментов пока еще не существует, как, впрочем, не существует и «окончательной» теории действия катализаторов вообще.

Чтобы иметь представление о согласованности действия ферментов, приведем следующий пример.

Ни одна живая клетка не в состоянии начать использование энергии глюкозы, не превратив ее в соединение с фосфорной кислотой — в глюкозофосфорную кислоту. Образование глюкозофосфорного соединения может произойти в клетке двумя путями: 1) при наличии гликогена и участии неорганической фосфорной кислоты фермент фосфорилаза отщепит глюкозу от гликогена непосредственно в форме глюкозофосфорной кислоты — глюкозо-1-фосфата, который под воздействием фермента фосфоглюкомута-

зы превратится в глюкозо-6-фосфат (этот фермент переносит фосфорную кислоту от первого к шестому углероду глюкозы); 2) при отсутствии гликогена глюкоза при помощи фермента гексокиназы и энергии аденозинтрифосфорной кислоты превратится в глюкозо-6-фосфат.

Таким образом, для образования глюкозо-6-фосфата в первом случае энергия берется из гликогена, а во втором случае — от особого энергетического вещества — аденозинтрифосфата, который при этом переходит в аденозиндифосфат (потеряв одну молекулу фосфорной кислоты).

Далее, глюкозо-6-фосфат под действием фермента гексоизомеразы превращается в фруктозо-6-фосфат. Из этого соединения при участии фермента фосфогексокиназы и аденозинтрифосфорной кислоты образуется фруктозо-1,6-дифосфат, а аденозинтрифосфат переходит в аденозиндифосфат. Фруктозо-1,6-дифосфат под действием фермента альдолазы распадается на глицеральдегид-3-фосфат и диоксиацетонфосфат. Последнее вещество под действием фермента изомеразы превращается также в глицеральдегид-3-фосфат, который без помощи фермента (во всяком случае фермент неизвестен) реагирует с неорганическим фосфором, в результате образуется глицеральдегиддифосфат. На это вещество действует дегидраза под действием кофермента кодегидразы-1, и образуется продукт окисления глицеринового альдегида — 3-фосфоглицерилофосфат. Последний реагирует с аденозиндифосфорной кислотой при участии фермента фосфоферазы, причем образуются аденозинтрифосфорная кислота и 3-фосфоглицериновая кислота.

На этом этапе на 3-фосфоглицериновую кислоту действует фермент мутаза (который перемещает фосфорную кислоту из положения третьего в положение второе), образуется 2-фосфоглицериновая кислота. Только на это соединение может действовать фермент эполоаза: фермент отнимает молекулу воды и превращает 2-фосфоглицериновую кислоту в 2-фосфопировиноградную кислоту. На молекулу этой кислоты действует фермент фосфофераза, который переносит фосфорную кислоту на аденозинфосфат, образуются аденозинтрифосфат и пировиноградная кислота.

Пировиноградная кислота у молочнокислых бактерий при участии специальной дегидразы (лактокодегидразы) и восстановленного кофермента кодегидразы-1 превращается в молочную кислоту. У дрожжей пировиноградная кислота под действием тиампиновой декарбоксилазы превращает-

ся в углекислый газ (CO_2) и уксусный альдегид. Последний же при участии фермента дегидразы и восстановленной кодегидразы-1 превращается в винный спирт.

Общий запас потенциальной химической энергии в одной грамм-молекуле (то есть в 180 г) глюкозы составляет 686 ккал. Энергия может освободиться только при распаде глюкозы до CO_2 и H_2O . При распаде этого соединения до стадии молочной кислоты освобождается лишь 36 ккал, при этом 20 ккал перепосыются на фосфатную связь аденозинтрифосфорной кислоты.

При превращении глюкозы до CO_2 и винного спирта освобождается 50 ккал, причем 20 ккал сохраняется в образовавшейся аденозинтрифосфорной кислоте.

Таким образом, чтобы освободить менее 10% химической энергии глюкозы, потребовался описанный выше сложный путь ступенчатого превращения, в котором последовательно приняли участие 12—13 различных специфических белков-ферментов, неорганическая фосфорная кислота, аденозиндифосфат и аденозинтрифосфат, ионы магния, кодегидразы (а в случае спиртового брожения и тямпиновая декарбоксилаза). Ступенчатый путь превращений глюкозы привел к накоплению химической энергии в форме аденозинтрифосфорной кислоты — важнейшего фосфорного органического соединения, способного превратиться непосредственно в сокращение мышечного волокна или другой физиологический процесс.

В клетках тела животного глюкоза сначала превращается тем же путем в пировиноградную кислоту, которая дальше проходит сложный ферментативный путь распада до CO_2 и H_2O . На этом последнем этапе распада принимают участие различные дегидразы с кодегидразой-1 и кодегидразой-2, ферменты с коферментами (тампиновым и биотинным, коферментом А — пантотеновой кислотой), флавиновые ферменты и вся система цитохромов и цитохромоксидазы.

Сказанное не оставляет сомнения в том, что использование энергии глюкозы происходит по одному и тому же способу у представителей самых отдаленных ветвей жизни, что является новым подтверждением процессов эволюции и единства всего живого на земле. Но наряду с общими закономерностями распада сахара у каждого вида могут быть свои дополнительные ферментативные механизмы превращений веществ. Так, в теле животного при распаде

пировиноградной кислоты принимает участие большое количество других специфических белков-ферментов. Распад других органических веществ — различных аминокислот, жирных кислот, витаминов, гормонов — происходит при участии целого ряда дополнительных специфических белков и коферментов. Только в тех звеньях обмена, где имеются тождественные с углеводным обменом промежуточные продукты, встречаются ферменты распада сахара. В дальнейшем мы остановимся на том, как осуществляется согласованность «работы» ферментов в нашем теле.

Значение ферментов для медицины

Изучение удивительной согласованности действия ферментов в живом организме представляет интерес не только для биохимиков, но и для врачей, технологов и других специалистов. Еще два века тому назад М. В. Ломоносов писал, что «медик без довольного познания химии совершен быть не может». Эти слова — пример замечательного научного предвидения — оправданные всем ходом развития биохимии, находят постоянное подтверждение и в новейших открытиях в области ферментов. Еще не так давно о соляной кислоте знали, что она необходима как активатор фермента желудочного сока — пепсина. Оказалось, что поступление соляной кислоты в желудочный сок обеспечивается действием специального фермента, способствующего ее выработке.

Все мы еще со школьной скамьи знакомы с той ролью, которую в нашем организме играет красящее вещество крови — гемоглобин. Она заключается в связывании кислорода воздуха и доставке в ткани нашего тела. Механизм связывания кислорода гемоглобином был так хорошо изучен, что никто не сомневался в зависимости этого процесса от давления кислорода во вдыхаемом воздухе; законы физики, вернее, физической химии, казалось бы, объясняли этот процесс полностью. Но несколько лет тому назад и для этого процесса был обнаружен в крови специальный фермент — глобин-оксидаза.

Таким же физико-химическим процессом до недавнего времени считали освобождение в крови углекислого газа из солей угольной кислоты — бикарбонатов. Оказалось, однако, что и этот простой химический процесс катализируется особым ферментом — угольной ангидразой (карбо-

ангидразой) — ферментом, в составе которого был обнаружен цинк.

Нет сомнений, что ближайшие годы принесут новые доказательства повсеместности участия ферментов во всех химических превращениях в жидкостях и тканях нашего тела. Ни одно заболевание не проходит без нарушений в химических процессах обмена веществ и, следовательно, без нарушений в деятельности ферментов, которая в живых клетках здорового организма отличается глубокой взаимосвязанностью и удивительной согласованностью. Естественно, что у врачей возникла мысль использовать ускорители химических реакций — ферменты — для лечения больных. Особенно широкое распространение получило лечебное применение ферментов, содержащихся в пищеварительных соках: пепсина, трипсина, хмотрипсина. С лечебной целью применяются и препараты многих других ферментов. Так, гиалуронидаза — фермент, разрушающий межклеточное вещество, — используется для ускорения всасывания лекарственных веществ, вводимых под кожу или внутримышечно. Грозное для организма заболевание — тромбоз (тромб — сгусток крови, образующийся при жизни в кровеносных сосудах и вызывающий иногда его закупорку) лечат с помощью плазмина. Этот фермент, образующийся из неактивного профермента — плазминогена, обладает способностью как бы растворять (лизировать) тромбы. Препараты дыхательных ферментов врачи применяют там, где организму грозит кислородное голодание и т. д.

С лечебной целью применяются не только ферменты-белки, но и те небелковые соединения — коферменты, которые входят в состав различных ферментативных систем. В состав коферментов входят многие (возможно и все) из хорошо известных витаминов — органических соединений, недостаточность или отсутствие которых в пище вызывает нарушение нормального обмена веществ и заболевание организма. Лечить такие заболевания, — казалось бы, простое дело: устранить недостаточность витамина (или витаминов), давая их больному в больших количествах. Однако в тех случаях, когда витамин входит в состав кофермента, этого недостаточно: если белковая часть фермента разрушена, то введение в организм больших количеств кофермента — витамина — не дает желаемого эффекта. Следовательно, в первую очередь надо устранить

белковое голодание, способствовать нормализации процессов создания необходимых организму белков, заботиться о соответствующем белковом составе пищи.

Коферменты широко используются с лечебной целью, главным образом в тех случаях, когда их недостаточность вызывает нарушение обмена веществ вследствие расстройства деятельности соответствующих ферментов. Достаточно упомянуть о коферментах, содержащих витамин В₁, тесно связанных с ферментативными превращениями углеводов, витамин В₂ (рибофлавин) — кофермент окисления, пикотиновую кислоту — кофермент дыхания тканей. Эти и другие коферменты прочно вошли в арсенал лечебных средств современной медицины. Недаром они попали в «первую десятку» наиболее ценных лекарственных веществ современности. Это объясняется тем, что они призваны действовать не на симптомы (признаки) болезни, а на самые интимные и действительные ее причины — нарушения в обмене веществ.

Ферменты как химические реактивы

За последнее время ферменты нашли в исследовательских лабораториях еще одно применение — в качестве химических реактивов. Но почему исследователи заинтересовались ферментами? Дело в том, что по сравнению с большинством обычно применяемых химических реактивов ферменты отличаются очень ценными качествами, о которых говорили выше: высокой разборчивостью, специфичностью и большой чувствительностью. Каждый фермент действует только на определенное вещество или на определенный тип химической связи в молекуле.

Нет правил без исключений: не все ферменты строго специфичны. Но все же специфичность действия остается наиболее ярко выраженным и весьма характерным свойством ферментов. Это исключительно ценное свойство. Иллюстрацией могут служить следующие примеры.

Чтобы успешно лечить больного, современный врач должен подходить к его постели, вооруженный точным знанием того, какие химические изменения произошли в заболевшем организме. Так, например, в 1 л крови здорового человека содержится около 1 г глюкозы, а при сахарной болезни количество ее может увеличиться до 6 г. Определение сахара в крови в этом случае имеет огромное зна-

чение: оно позволяет установить заболевание даже тогда, когда больной чувствует себя еще здоровым: дает возможность контролировать состояние больного во время лечения; помогает предсказать ход заболевания.

Но все имеющиеся химические методы не дают возможности определять в крови только глюкозу. Дело в том, что кровь содержит и другие вещества, вступающие в реакцию с применяемыми химическими реактивами, которые «выдают себя» за глюкозу. Как же определить содержание собственно глюкозы? На помощь приходят ферменты. Применяя фермент нотази (глюкоза-оксидаза)¹, действующий только на глюкозу и даже не затрагивающий другие сахара, близкие к ней по строению, можно легко и просто определить в крови содержание истинной глюкозы.

Другой пример. Произошла автомобильная катастрофа. Как определить, не был ли водитель в нетрезвом состоянии? Пытаться установить это по запаху алкоголя — способ весьма ненадежный. Ответ на этот вопрос может дать врачу-эксперту определение содержания винного алкоголя в крови.

Но химические определения винного алкоголя в крови не отличаются точностью. Ведь в крови содержатся и другие вещества (например, молочная кислота), влияющая на результат химического анализа. Ошибка химика может повести к роковым последствиям для водителя. Если же для анализа крови использовать специальный фермент, окисляющий только винный алкоголь, ошибки не будет.

Здесь уместно привести и другой пример. На одной из лакокрасочных фабрик в Западной Германии группе рабочих было предъявлено обвинение в том, что они пьянствуют на работе. Обвинение было подкреплено результатами анализа крови с помощью ферментативного метода. Анализ показал, что содержание винного спирта в крови этих рабочих было резко повышено. Однако сами рабочие утверждали, что виной всему плохая вентиляция на фабрике. Тщательная проверка показала, что рабочие правы. На фабрике было большое количество этилацетата (соединение этилового спирта и уксусной кислоты), пары которо-

¹ Обычно ферменту дают название, прибавляя окончание «аза» либо к латинскому корню слова, обозначающего вещество, на которое действует фермент, либо к названию процесса, который катализируется данным ферментом. Наряду с этим пока еще есть много ферментов с произвольными, исторически сложившимися и устоявшимися названиями.

го вдыхали рабочие. Под влиянием специального фермента (эстеразы) этилацетат распадается в организме на этиловый спирт и уксусную кислоту. В результате этого содержание алкоголя в крови резко повысилось. Проверка была выполнена при помощи того же ферментативного метода, на результатах которого была сделана попытка построить ложное обвинение. Вот какую роль могут играть ферментативные методы!

Сказанное выше достаточно иллюстрирует основное преимущество ферментативных методов. Высокая специфичность действия ферментов позволяет определить целый ряд искомым веществ в сложных смесях без предварительного отделения их от сопутствующих веществ, мешающих исследованию. Таким образом, экономится много времени и труда, обычно затрачиваемых на предварительную очистку искомого вещества.

Но молекулы ферментов можно использовать и для такой предварительной подготовки к анализу. Еще со школьной скамьи мы знаем, что такое витамины и как важно обеспечить пищевой рацион человека и животных достаточными количествами этих веществ, без которых нет полного здоровья. Поэтому совершенно необходимо знать содержание витаминов в том или ином пищевом продукте. Однако непосредственный химический анализ не всегда ведет здесь к цели. Дело в том, что многие витамины содержатся в биологическом материале в связанном виде. Эту связь можно разорвать, обрабатывая исследуемую пробу соответствующим ферментом. Благодаря такой обработке витамины высвобождаются из связанного состояния и становятся доступными для обнаружения обычным химическим анализом.

Нередко в химическом анализе ферменты применяются как своеобразные разведчики, первооткрыватели того или иного вещества. Химики называют таких разведчиков индикаторами. Следовательно, индикатор (в переводе с латинского это слово означает «указатель») — реактив, позволяющий быстро установить присутствие определенных химических веществ или уловить конец реакции. Такими индикаторами могут быть ферменты.

Так, например, большое значение в медицине и в пищевой химии имеет обнаружение крови или гноя с помощью фермента каталазы. Если смочить исследуемое пятно слабым раствором перекиси водорода, то можно заме-

тить выделение пузырьков газа. Появление газа указывает на наличие крови или гноя, всегда содержащих каталазу, которая быстро разлагает перекись водорода.

В состав гигантской молекулы белка могут входить сотни и тысячи молекул более 20 различных аминокислот, расположенных в определенных сочетаниях и последовательности. Разгадать эту последовательность и затем воспроизвести ее в условиях лаборатории — вот основная трудность проблемы получения искусственного белка, разрешение которой будет величайшим достижением науки.

За последние годы в этом направлении были достигнуты значительные успехи. Применяя специальный фермент карбоксипептидазу, который, разрывая определенные связи, постепенно отщепляет отдельные аминокислоты, многие исследователи добыли интереснейшие сведения о последовательности расположения аминокислот в молекуле природного белка и тем самым приблизились к разгадке тайны происхождения живого белка на нашей планете. Так в руках человека ферменты служат решению крупнейших проблем современности.

Получение искусственных ферментов

Как обстоит дело с химическим синтезом ферментов, т. е. с получением их в лабораториях без помощи живых организмов?

Мы упоминали о том, что ферменты — это белки и, следовательно, получение искусственных ферментов является проблемой синтеза белка. Эта проблема почти решена. Химикам удалось сначала точно установить химическое строение некоторых простейших белковоподобных соединений и затем искусственно их воссоздать. Полученные вещества обладали важными биологическими свойствами. Пока таким путем получены как бы предбелки-малютки, молекула которых сравнительно мала. Правильнее было бы называть их не белками, а обломками белков, переходной ступенью от аминокислот к белкам. Такой переходной ступенью можно считать полипептиды, в которых несколько аминокислотных остатков связаны друг с другом по такому же типу, как и в белках.

Не являясь белками, полипептиды напоминают их не-

которыми свойствами. Поэтому, осуществив синтез полипептидов, химики захватили подступы к синтезу искусственного белка. Напомним, что недавно осуществлен и первый полный синтез молекулы белка первостепенной важности — инсулина (гормона, управляющего углеводным обменом в нашем теле). Нет никакого сомнения, что получение искусственных ферментов — дело ближайших лет. Поскольку хорошо изучено химическое строение пептидов тех белков, ферментные свойства которых известны, можно с уверенностью сказать, что среди первенцев искусственного синтеза белков будут находиться ферменты. Таким образом будет достигнута цель — получение синтетических ферментов, подобных по своим свойствам природным ферментам.

Ферменты — высокомолекулярные соединения, молекулы-гиганты. Химики научились искусству «брать» молекулы в руки, поворачивать нужной стороной, скреплять друг с другом и создавать таким путем гигантские молекулы с заданными свойствами. В недалеком будущем станет реальностью создание искусственных ферментов с теми свойствами, усиленными в тысячи раз, которые захочет придать им человек.

Как изучают ферменты в живом организме?

Из сказанного выше вытекает, что в живом организме идут превращения веществ, поступающих из внешней среды, и выделение продуктов этих превращений. Так происходит обмен веществ между организмом и внешней средой. Благодаря такому обмену наш организм получает энергию, необходимую для жизни, благодаря ему происходит также постоянное восстановление тканей тела, разрушающихся в процессе жизнедеятельности. Но обмен веществ, без которого не может быть жизни, невозможен без участия ферментов, играющих в нем основную роль. Ясно, что ученым необходимо знать сущность процессов обмена веществ прежде всего в здоровом организме. Только зная эти нормы, можно выявить те нарушения обмена веществ, которые развиваются при патологических состояниях организма и характеризуют отдельные заболевания. Такие сведения помогают врачу выяснить причины и механизм возникновения болезней, а следовательно, дают возможность наметить пра-

вильное лечение, применяя соответствующие лекарственные средства и другие методы; они помогают создавать новые эффективные лечебные средства.

Но чтобы представить сущность процессов обмена веществ здорового организма, необходимо знать, как ведут себя при этом «ключи жизни» — ферменты. Зная это, мы, очевидно, можем судить и о том, как изменяются ферменты при тех нарушениях химических превращений, которые характерны для больного организма.

Когда ученого интересует роль какого-нибудь соединения в организме, например, сахара, он с помощью специальных химических реактивов определяет сначала его присутствие в моче, а затем уже ведет количественный учет сахара. Можно ли поступить так же и в отношении ферментов? В принципе, можно. Но присутствие ферментов обычно открывают не с помощью реактивов, непосредственно вступающих с ними в реакцию, а по наиболее характерному признаку фермента — его специфическому действию.

В секретах и биологических жидкостях ферменты находятся в растворенном состоянии. Чтобы открыть фермент в таком биологическом материале, надо помнить главные особенности ферментов: термолабильность, зависимость от рН, специфичность и высокую эффективность действия. Для этого к небольшому объему биологического материала в пробирке или колбочке прибавляют такой солевой раствор, который обеспечивает постоянную и оптимальную реакцию среды для искомого фермента, затем прибавляют соответствующий субстрат, ставят в термостат при температуре 36° и наблюдают за его действием. Если субстрат начнет исчезать с заметной скоростью, это значит, что в биологической жидкости имеется определеннный фермент. Чтобы убедиться в том, что исчезновение субстрата вызвано ферментом, а не простым катализатором, с другой порцией той же биологической жидкости проводят контрольный опыт: сначала ее нагревают до кипения, а затем, охладив до 36° , прибавляют субстрат и следят за результатом (этот опыт проводят параллельно с первой пробой). Если в кипяченой жидкости не произошло исчезновения субстрата, то это подтверждает предположение, что исчезновение субстрата в первой порции произошло только благодаря ферменту.

Можно открывать фермент не по исчезновению субстрата, а по появлению продукта распада субстрата. Так, ами-

лаза открывается не только по исчезновению крахмала, но и по появлению продуктов его распада — сахара, который легко обнаружить химической реакцией.

Открытие ферментов, находящихся в клетках и не выделяемых клеткой в тканевую жидкость, производится путем раздавливания клеток и экстрагирования их водой или чаще всего водным раствором глицерина. В экстракт вместе с ферментами переходят и сопутствующие вещества (белковые и небелковые), что нередко мешает выявлению того или иного фермента, так как существует ряд веществ, тормозящих действие ферментов и даже специфических антиферментов.

Итак, о присутствии ферментов в той или иной жидкости или ткани организма судят по их активности. По силе производимого ферментами действия можно вести и учет их количества. Например, очень часто важно знать, содержится ли в желудочном соке протеолитический (расщепляющий белки) фермент — пепсин. Очевидно, чтобы судить, насколько изменилось содержание пепсина у человека с больным желудком, необходимо знать, каково содержание этого фермента в нормальном желудочном соке здорового человека. Только такое сравнение позволяет врачу установить наличие болезни. Другими словами, врача интересует, чем отличается исследуемый желудочный сок от нормального желудочного сока, т. е. относительные показатели активности пепсина. Поэтому широкое распространение получил способ Метта (разработанный в лаборатории И. П. Павлова). Этот способ заключается в следующем: градуированную трубочку, содержащую столбик свернувшегося яичного белка, подвергают действию исследуемого желудочного сока и сравнивают скорость растворения белка со скоростью растворения его под действием нормального желудочного сока. Конечно, относительную активность пепсина можно определять и другими методами. Для каждого фермента разработаны специфические методы определения его активности, и относительное содержание каждого фермента выражают в так называемых условных единицах активности.

В настоящее время разработаны и такие методы, которые позволяют учитывать непосредственно количество того или иного фермента в исследуемой жидкости. Но эти методы применяются главным образом в научно-исследовательских лабораториях.

Из сказанного выше следует, что мерила, условные единицы ферментативной активности различны не только для каждого отдельного фермента, но и при оценке активности одного и того же фермента. Так, например, методы определения амплазной активности крови, основанные на учете количества образованного сахара, отличаются от методов, в которых амплотическая активность крови устанавливается по способности разрушать гликоген. Поэтому в первой группе методов результат в значительной степени зависит от способности крови разлагать образующиеся при этом полисахариды, т. е. декстрины, до гексоз, что можно до известной степени сравнить с альфа-амилазной активностью. Оценка ферментативной активности по разложению гликогена (нефелометрический метод) ближе к определению так называемой бета-амилазной активности. В последнем случае речь идет только о разрушении крупных молекул полисахарида до декстринов, дальнейший же процесс этим методом не учитывается). Аналогичные в принципе результаты дают методы, основанные на определении момента исчезновения подкрахмальной реакции.

Другой пример. Фермент пероксидаза обладает способностью окислять большое количество субстратов и использует для этого не только кислород перекиси водорода, но и других перекисей. Благодаря этому можно предложить большое количество методов учета активности фермента, основанных на использовании различных реакций, но будут ли эти методы равноценными? Если бы речь шла не об определении ферментативной активности крови, а об активности какого-нибудь высокоочищенного кристаллического фермента, можно было бы предположить, что эти методы взаимозаменяемы, так как чистое вещество имеет определенные константы, и для проверки достаточно определить одну или несколько констант, чтобы знать остальные. Но когда идет речь о ферментативной активности крови, это рассуждение неприменимо, так как содержащийся в крови фермент находится под влиянием многочисленных активаторов и ингибиторов, которые в случае различных субстратов действуют по-разному.

Возникает вопрос: можно ли при таком различии методов оценки ферментативной активности говорить о биохимических нормативах для ферментов? Этот вопрос вполне обоснован, поскольку даже при определении одним и тем же методом величины, выраженные в условных едини-

цах какого-либо фермента, нередко колеблются в широких пределах, причем различия между минимальными и максимальными цифрами могут достигать нескольких сот процентов!

В этом отношении колебания показателей ферментативной активности заметно отличаются, например, от таких показателей, как содержание сахара в крови, в норме меняющихся в сравнительно узких пределах от 70 до 100 мг%.

Все же биохимические нормативы представляют интерес и в отношении ферментов, так как исходные цифры, характеризующие активность ферментов в здоровом организме, нужны и здесь. Такие нормы, условные в широком смысле этого слова, позволяют судить прежде всего о том, что является нарушением обычного уровня активности ферментов.

Подавляющее большинство химических реакций обмена веществ в организме протекает при участии ферментов. А так как почти все заболевания человека вызываются, сопровождаются или являются следствием нарушений обмена веществ, ясно, что изменение активности того или иного фермента позволяет судить о характере заболевания, помогает установить наличие заболевания, предсказать его исход, может служить подсобным критерием для оценки эффективности того или иного вида лечения.

Определение норм ферментативной активности необходимо не только врачу. Несмотря на большое сходство закономерностей обмена веществ во всех живых организмах, особенно в организме человека и животных, в процессе развития живых существ под влиянием изменения условий их существования сложились также особенности химических превращений, которые типичны для каждого вида живых существ. Изучение и сравнение норм ферментативной активности у одного и того же вида на различных стадиях индивидуального развития организма, начиная с внутриутробной жизни и кончая глубокой старостью, и у различных видов живых существ имеет большое теоретическое и практическое значение для биохимии развития, возрастной биохимии, сравнительной биохимии. Знание этих норм необходимо и для решения важнейшей проблемы биологии — создания искусственного белка, наделенного всеми свойствами живого (вернее, теми свойствами, которыми захочет наделить его человек).

Значение ферментов в питании человека

Сотни лет человек вынашивает мечту об искусственных питательных веществах в виде небольших таблеток или пилюль, полностью заменяющих громоздкую и часто неудобоваримую пищу наших дней. Избавить людей от необходимости употреблять пищевые продукты: хлеб, мясо, жиры, овощи, фрукты, содержащие не только полезные, но и ненужные, а то просто вредные вещества, на пережевывание и переваривание которых организмом затрачивается много энергии, наконец, избавить труженников сельского хозяйства от огромного труда по производству пищевого сырья, а работников пищевой промышленности — от переработки этого сырья — не заманчивая ли перспектива! Ведь вся история человечества учит нас тому, что, сокращая процесс пищеварения, человек делает крупные достижения в области культуры, науки, созидания. Вспомним слова Энгельса о роли перехода к мясной пище и применения огня и становлении человека.

Но не стоит мечтать о пилюлях, содержащих все необходимые питательные вещества в таком виде, что им остается только всосаться в кишечнике, это сделает совершенно ненужными зубы, ротовую полость, пищевод, желудок и часть кишечника. Подобные мечты нереальны. Ближайшие тысячелетия не смогут изменить наше тело, приспособленное на протяжении миллионов¹ лет к тому, что пищеварение неотделимо от всей жизнедеятельности организма. Но создание синтетической и более удобоваримой пищи — мечта реальная, делающаяся явью уже в наше время.

Сколько неприятностей доставляет нам жесткое, как подошва мясо, которым нередко угощают в предприятиях общественного питания, а иногда и дома. Даже искусные хозяйки не всегда справляются с задачей превратить еду из такого мяса в еду, которую едят с аппетитом, с наслаждением.

Но что скажут хозяйки о чудесном порошке, щепотка которого могла бы превратить самый жесткий бифштекс в нежное филе или телятину. Такие порошки существуют; назовем хотя бы препарат фермента папаина, получаемо-

¹ Человек существует около 100 тыс. лет, но его предшественники — несравненно дольше.

го из плодов культивируемого у нас на юге дерева «карлика панаи»! Подобные ферменты содержатся в проростках пшеницы и в других растениях.

Не только мясо, но и такие пищевые продукты, как горох, фасоль, чечевицу, можно так рязмягчить, предварительно обработав ферментами, что на их варку понадобится в четыре раза меньше времени, чем обычно.

Кроме панаина — фермента, расщепляющего белки, существует огромное количество ферментов, деятельность которых мы можем уже теперь направить на предварительную обработку самых разнообразных пищевых продуктов.

Перспективы применения ферментов

В кухне недалекого будущего ферменты, созданные чисто химическим путем, займут верное место. Зная свойства ферментов, человек усилит их в тысячи раз. Будут созданы не только фабрики жиров, углеводов, вкусовых и ароматных веществ, но лаборатории и заводы, на которых из природного сырья будут добывать, а впоследствии синтезировать ферменты.

Человек и животные питаются пока еще за счет растений, зеленые листья которых используют в процессе синтеза энергию солнечных лучей, готовят пищу из воздуха, воды, солей при помощи ферментов. В будущем, когда синтетическая химия сможет давать все необходимые человеку пищевые продукты, откажется ли он от помощи растений с их замечательной лабораторией зеленого листа, работающей пока лучше самых совершенных химических лабораторий, созданных современной наукой?

В развитии современной химии и техники легко заметить три главных направления: скорость, автоматизация, новые формы энергии. Используя биологические катализаторы-ферменты, скорости химических реакций можно довести до фантастических пределов. Автоматизация на фабриках синтетической пищи будет основана не только на предельной механизации с помощью машин и приборов. Будет использована и особенность ферментов, которая заключается в том, что белок с его обменом веществ — это автоматически самосовершенствующийся процесс. Но на ближайшие сотни лет едва ли выгодно заменять бесплатную энергию солнечных лучей другими видами энергии, хотя

бы и более мощными, чем солнечное излучение: слишком уж велико количество энергии, необходимой для получения пищевых продуктов, в которых нуждается человечество¹. Очевидно, человек еще долго будет пользоваться растениями, улучшая их работу, в частности, усиливая действие тех ферментов, которые работают в зеленой лаборатории листа.

Живые организмы — хорошие химические лаборатории, что самое главное, фабрики ферментов. Особенно богатый ассортимент ферментов изготавливает организм микробов. Именно микроорганизмы используются все шире и шире для организации ферментных заводов, вырабатывающих препараты ферментов для нужд различных отраслей промышленности. Эти ферменты уже используются для производств лечебных вакцин, для смягчения кожи, удаления волосяного покрова, для обработки шелковых и хлопчатобумажных тканей, обезжиривания шерсти, для переработки древесины с целью получения из нее технических и пищевых продуктов и т. д.

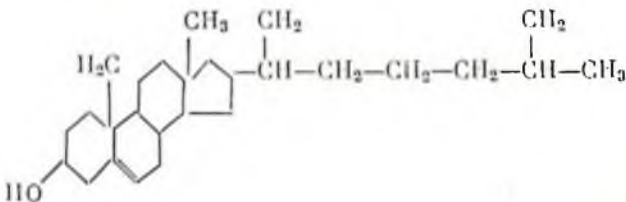
Такие препараты ферментов, очевидно, найдут широкое применение и в тех отраслях пищевой промышленности — производстве хлеба, пива, спирта, вина и других продуктов, в которых ферменты используются с незапамятных времен.

¹ А. Н. Несмеянов и В. М. Беликов. Проблема синтеза пищи. М., «Наука», 1965.

3

Липиды

Липиды (от греческого «липос» — жир) — это общее название для жиров и жироподобных веществ — липоидов. Нейтральным жиром химики называют сложный эфир, в котором одна молекула спирта-глицерина соединена с тремя молекулами жирных кислот. Жироподобные вещества — тоже сложные эфиры с той, однако, разницей, что в некоторых из них глицерин соединяется не только с жирными кислотами, но и с другими веществами, в частности с фосфорной кислотой. Такие липиды носят название фосфатидов. В других липидах — стероидах — жирные кислоты соединены не с глицерином, а с другими, более сложными спиртами, вроде холестерина:



Жиры — один из основных пищевых продуктов. Они совершенно необходимы для полноценного питания человека. Однако долгое время им не придавали особого значения, считали, что без жиров можно обойтись, так как в организме они легко образуются из углеводов и белков. Поэтому на жиры смотрели лишь как на источник концентрированной энергии, ибо давно было известно, что их калорийность более чем в два раза превышает калорийность углеводов и белков. Так, если каждый грамм углеводов или белка дает 4,1 ккал, то грамм жира — 9,3 ккал.

Было установлено, что недостаток жиров в пище сокращает жизнь, нарушает деятельность центральной нервной системы и органов размножения, снижает выносливость к неблагоприятным условиям жизни, в том числе к различным заболеваниям. В частности, большое значение имеют так называемые ненасыщенные жирные кислоты, которые находятся главным образом в растительных жирах. В чем же заключается специфическое действие ненасыщенных жирных кислот, какова их активность, сколько их нужно человеку? Какова роль насыщенных жирных кислот, из которых состоят главным образом животные жиры?

Известно, что в составе любого жира есть насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты. Их соотношение различно в зависимости от качества жира. Чем больше он содержит насыщенных жирных кислот, тем он более тугоплавкий и твердый. Жиры, содержащие большое количество ненасыщенных жирных кислот, как правило, жидкие. К ним относятся растительные масла.

Специфическое действие ненасыщенных жирных кислот состоит в том, что они укрепляют те тончайшие мембраны, которыми каждая клетка в тканях отделена от другой. Как показали исследования, не все ненасыщенные жирные кислоты биологически активны и обладают целебным действием. Наиболее ценны в этом отношении три ненасыщенные кислоты: арахидоновая, линолевая и линоленовая. Арахидоновая жирная кислота благодаря большой биологической активности названа даже витамином. В растительных маслах арахидоновой кислоты нет. Она находится в жирах животного происхождения, среди которых на первом месте стоят свиной и китовый жиры, а также яичный желток. Небольшое ее количество содержится в сливочном масле.

Что касается двух других биологически активных кислот — линолевой и линоленовой, — то больше всего их в натуральном льняном и конопляном масле. Много линолевой кислоты и в подсолнечном масле. В связи с этим маргарин, содержащий значительный процент растительных жиров, некоторые ученые считают более полноценным, чем сливочное масло.

Три основные ненасыщенные жирные кислоты — арахидоновая, линолевая и линоленовая — в определенной степени незаменимы. Что это значит? Это значит, что они почти не синтезируются в организме и должны поступать

с продуктами питания. Исключением составляет арахидоновая кислота, которая может образовываться из линолевой, но лишь при наличии достаточного количества витаминов группы В.

Можно считать, что для человека наиболее благоприятна такая диета, в которой жиры обеспечивают 20—25% от всего количества калорий, поступающих с пищей. Другими словами, на 1 кг веса взрослого человека должно приходиться в среднем 1,25 г жиров ежедневно. Это количество в основном соответствует существующим нормам. Однако такую норму нельзя признать подходящей для всех периодов человеческой жизни. Так, например, молодой организм хорошо переносит даже избыточное поступление жира, в то время как для пожилых людей большие количества его вредны: у них наступает ожирение, нарушаются функции ряда органов, в первую очередь печени и сердечно-сосудистой системы. Поэтому после 40—45 лет следует ограничивать жир в диете приблизительно вдвое против обычного. В этом возрасте полезнее растительные масла, которые не вызывают ожирения и даже употребляются для лечения тучности.

Нейтральный жир и другие липиды поступают в организм с пищей или же частично в нем синтезируются. По-видимому, организм обладает способностью синтезировать все жирные кислоты (кроме многократно ненасыщенных), фосфатиды, холестерин и его эфиры.

Усвоение жира из кишечника происходит после его гидролиза. Обратный синтез имеет место, по-видимому, в стенке кишечника. В настоящее время можно считать доказанным, что нерасщепленные жиры, если только они образуют очень тонкую эмульсию, могут всасываться эпителием кишечника. Большая часть жира, однако, подвергается расщеплению ферментами — липазами, и образующиеся жирные кислоты вступают в комплексное соединение с желчными кислотами, которое легко всасывается. В эпителиальных клетках происходит разложение этих комплексов и синтез новых молекул жира, отличающихся от пищевых. Освободившиеся желчные кислоты вновь поступают в просвет кишечника, где снова могут быть использованы для соединения с жирными кислотами.

Хотя дальнейший путь жиров из кишечной стенки окончательно еще не выяснен, большинство ученых считает, что преобладающая их часть переносится лимфой, некото-

рая же часть, очевидно, поступает в систему воротной вены и затем в печень.

Расщепление и всасывание фосфатидов в желудочно-кишечном канале после отщепления фосфора (под действием ферментов лецитиназы и фосфатазы) происходит тем же путем, что и нейтральных жиров.

Нужно ли исключать липиды из пищи людей, склонных к ожирению? Исключить полностью нельзя даже в рационе питания очень тучных людей. Конечно, жиры — это концентраты энергии и сокращать их количество в пище при лечении ожирения необходимо. Однако небольшое количество жиров необходимо хотя бы потому, что наше тело получает вместе с ними необходимые жирорастворимые витамины А, Д, Е и может усваивать их только с помощью жиров. Очень полезны растительные жиры. (Напомним еще раз, что в них содержатся ненасыщенные жирные кислоты, способствующие обмену холестерина и препятствующие накоплению его в крови, а также стерины, тормозящие поступление холестерина пищи из кишечника в кровь.) А вот сметана и сливки — полезнее сливочного масла: они содержат витамины, препятствующие отложению жира в печени и улучшающие обмен холестерина. Вообще пожилым или склонным к ожирению (и к некоторым другим болезням) людям следует избегать трудноперевариваемых животных жиров (свиное и баранье сало, говяжий жир). Самое главное — сократить общее количество жиров в суточном рационе, заменить животные жиры половинным количеством растительных масел (до 30 г. в день с винегретами и салатами). Необходимо следить за свежестью этих масел, так как на воздухе (и при длительном нагревании) они легко окисляются и образуют вредные продукты. Что касается общего количества жиров в суточном рационе, то для здорового человека оно составляет 80—100 г. (считая и тот жир, который входит в состав различных продуктов).

Принем пищи, содержащей жир, приводит к увеличению его содержания в крови — липемии, но не сразу: возрастание содержания жира начинается через два часа после приема пищи и достигает своего максимума через шесть часов. При принятии очень значительных количеств жира содержание его в крови может даже удвоиться с возвратом к норме через семь-восемь часов после достижения максимума.

С обменом жиров в организме тесно связаны так называемые ацетоновые тела, к которым относят органические соединения: ацетон, ацетоуксусную кислоту и β -оксимасляную кислоту. Ацетоновые тела образуются в организме в больших количествах при нарушении жирового обмена. Классическое представление об окислении жирных кислот предполагает, что процесс течет по типу так называемого бета-окисления, при котором происходит окислительное расщепление жирной кислоты у бета-атома, в результате чего от жирной кислоты отделяется каждый раз по молекуле уксусной кислоты¹.

Местом образования ацетоновых тел является, по-видимому, печень. Дальнейшее же их окисление происходит в различных тканях, в частности в мышцах. Ацетоновые тела образуются у диабетиков в периоды обострения болезни. Введение инсулина и углеводов может резко снизить образование ацетоновых тел как результата нарушения углеводного обмена.

Однако ацетоновые (кетонные) тела образуются также и из белков. Аминокислоты, входящие в состав белков, можно с точки зрения кетонобразования разделить на две группы: кетогенные, т. е. образующие ацетоновые тела (например, лейцин, изолейцин, тирозин и др.) и антикетогенные (например, аланин, аспарагиновая кислота и др.), которые не являются источником ацетоновых тел.

Ацетоновые тела появляются в крови в ненормальных количествах чаще всего при сахарной болезни, но бывают и другие патологические состояния, приводящие к ацетонемии: голодание, рвоты (особенно у детей).

¹ Уксусная кислота образует соединение, легко превращающееся в ацетоуксусную кислоту ($\text{CH}_3\text{—CO—CH}_2\text{—COOH}$), из которой в свою очередь образуются ацетон ($\text{CH}_3\text{—CO—CH}_3$) и β -оксимасляная кислота ($\text{CH}_3\text{—CH(OH)—CH}_2\text{—COOH}$). Эти три вещества носят название ацетоновых тел.

4

Углеводы

Углеводы так же, как белки и жиры, относятся к органическим веществам. Их молекула состоит из трех элементов: углерода, водорода и кислорода. Водород и кислород содержатся в этих молекулах обычно в таком же соотношении, как и в молекулах воды. Иначе говоря, у большинства углеводов на каждые два атома водорода приходится один атом кислорода (H_2O). Отсюда и возникло название (не совсем правильное) «углеводы», обозначающее, что у этих веществ каждый атом углерода как бы соединен с одной молекулой воды.

Не так давно было обнаружено, что в некоторых углеводах имеется и другое соотношение между водородом и кислородом. Подобные соединения возникают в процессе синтеза более сложных углеводов и почти не играют роли в питании. Однако, несмотря на открытие нового типа связей между атомами в этой группе органических соединений, название углеводы настолько утвердилось, что сохраняется в науке до последнего времени.

Различают простые и сложные углеводы. Сложные углеводы, или полисахариды (от греческого слова «поли» — много), состоят из большого количества молекул простых углеводов, называемых иначе моносахаридами («моно» — по-гречески один). Полисахариды могут быть расщеплены на составляющие их моносахариды, которые при дальнейшем расщеплении превращаются в вещества, уже не относящиеся к углеводам.

Моносахариды отличаются друг от друга рядом свойств, которые определяются особенностями химического строения их молекул. Самым существенным является то, что различные моносахариды содержат разное количество

атомов углерода. Наибольшее распространение имеют моносахариды, содержащие в каждой молекуле шесть атомов углерода. Они называются гексозами («гекс» — по-гречески шесть). Значительно реже встречаются моносахариды, каждая молекула которых содержит пять атомов углерода. Такие называются пентозами («пенте» — пять). Моносахариды, молекулы которых содержат меньше пяти углеродных атомов, встречаются чрезвычайно редко и в питании играют незначительную роль. Но даже в тех случаях, когда молекулы углеводов содержат одно и то же количество атомов углерода, водорода и кислорода, их свойства могут все же значительно отличаться друг от друга. Объясняется это тем, что атомы водорода и кислорода не всегда одинаково располагаются вокруг атомов углерода.

Среди моносахаридов, имеющих в своем составе шесть атомов углерода, наибольшее распространение имеют: глюкоза — виноградный сахар, фруктоза — плодовый сахар и галактоза, входящая в состав сахара молока.

Отдельные моносахариды, соединяясь друг с другом, образуют более или менее сложные углеводы. Из двух молекул образуются так называемые дисахариды («ди» — по-гречески дважды). Если в соединение вступают три молекулы, возникают трисахариды. Наконец, из большого числа моносахаридов складываются полисахариды. Эти сложные соединения также имеют различные свойства, которые зависят не только от количества моносахаридов, но и от расположения атомов внутри их.

Кроме моносахаридов и дисахаридов известны и такие углеводы, которые содержат азот. Это так называемые аминосахара (глюкозамин, галактозамин и др.), входящие в состав очень важных групповых веществ крови — мукополисахаридов, бактериальных полисахаридов. Большое значение имеет мукополисахарид гепарин, содержащийся в крови и препятствующий ее свертыванию. Из углеводов образуется также глюкуроновая кислота, играющая в организме человека важную роль. Она обладает способностью обезвреживать многие попадающие в организм вредные вещества. Очень важно и то обстоятельство, что остатки углеводов являются составными частями нуклеиновых кислот и многих сложных белков.

Все моносахариды и дисахариды обладают сладким вкусом, однако степень его неодинакова. Самым сладким является моносахарид фруктоза. Если ее сладость принять

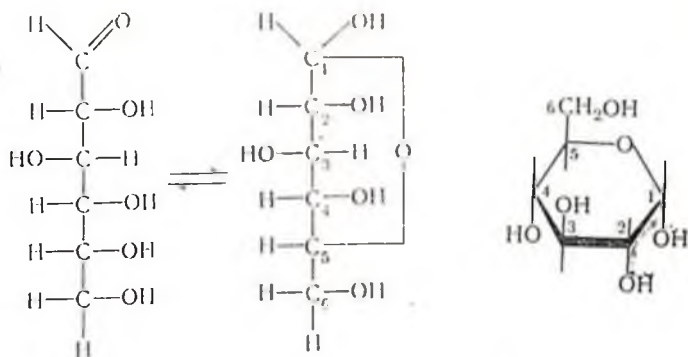
за 100 единиц, то сладость глюкозы будет равной 42, а галактозы — только 18 единицам. Мед содержит большое количество фруктозы, поэтому так он сладок. Из дисахаридов наиболее сладкая сахароза, которая представляет соединение глюкозы с фруктозой. Это соединение не что иное, как обыкновенный сахар. Его сладость равна 58 единицам.

Широко распространены в природе и полисахариды. Чаще всего это сложные соединения из нескольких сотен молекул глюкозы. К их числу относятся, в частности, крахмал — углевод, содержащийся в клетках растений, гликоген — углевод животных тканей и клетчатка, входящая в состав оболочек растительных клеток. Ни один из полисахаридов не обладает сладким вкусом.

Моносахариды и полисахариды — основной источник энергии в организме. А так как вся энергия выделяется в виде тепла, то, измерив его количество, можно судить об энергетических затратах организма. Один килограмм усвоенного углевода дает 4100 ккал, которые дадут телу человека избыток необходимой калорийности. И все же в случае нужды (например, при ожирении) человек может совершенно свободно обойтись без «чистых» углеводов (сахара, глюкозы), заменив их другими источниками энергии. Поэтому принято говорить, что сахар — источник «пустых калорий». А вот без некоторых полисахаридов (клетчатки, пектиновых веществ) мы не смогли бы обойтись, хотя они и не снабжают наш организм энергией (правильнее сказать: почти не снабжают). Хотя в кишечнике человека имеются микроорганизмы, способные переваривать клетчатку, но этот процесс происходит в небольшом объеме. Это хорошо, потому что увеличение процессов брожения клетчатки в кишечнике может привести к неприятным явлениям — чрезмерному образованию газов, служащих причиной метеоризма. Но клетчатка и пектиновые вещества пища играют в кишечнике в основном не химическую, а механическую роль. В слизистой стенке кишечника заложены нервные окончания: раздражая их, клетчатка и пектиновые вещества выполняют полезное дело, усиливая перистальтику кишечника и продвижение в нем пищевых масс. Клетчатка и пектиновые вещества до сих пор носят название «балластных» и, следовательно, бесполезных веществ, но это клеймо пора снять: они необходимы для нормального пищеварения, так как регулируют работу кишечника. Вот

почему при вялой работе кишечника врач пазпачают хлеб грубого помола, чернослив, свеклу и другие продукты, богатые клетчаткой.

Углеводы имеют огромное значение для жизни организма. Правда, если высушить тело человека, то на долю углеводов придется не более 2% такого «сухого веса». Но за всю свою жизнь каждый из нас съедает около 10 т углеводов. Они содержатся главным образом в пище растительного происхождения. Из хлеба, картофеля, различных круп организм человека усваивает основной углевод — крахмал. В процессе пищеварения крахмал расщепляется до простого сахара — глюкозы, а она, пройдя слизистую оболочку кишечной стенки, проникает в кровь и через воротную вену попадает в печень. Ниже представлены формулы различных форм глюкозы.



Следует иметь в виду, что крахмал — сложный углевод, который не усваивается организмом без предварительного расщепления. Частичное (правда, незначительное) расщепление крахмала можно заметить на хорошо выпеченном хлебе. Сладковатый привкус корочки такого хлеба объясняется тем, что под влиянием высокой температуры в процессе его выпечки крахмал частично распадается, образуя более простые вещества (декстрины), имеющие сладковатый вкус. Частичный распад крахмала пищи начинается уже в полости рта, где на него действует фермент амилаза. Однако окончательное расщепление крахмала с образованием глюкозы происходит только в кишечнике под влиянием фермента амилазы.

Итак, переваривание крахмала происходит сравнительно медленно и, пожалуй, в этом его некоторое преимущество, так как обеспечивается постепенное поступление в кровь образующейся глюкозы. А что произойдет, если человек будет питаться только глюкозой или обыкновенным сахаром, который сравнительно быстро образует глюкозу? В некоторых случаях это может принести пользу. Так например, наш мозг — известный сладкоежка. Ни одна ткань не потребляет так много глюкозы, как мозг, для работы которого она особенно необходима. И если поступление глюкозы к мозгу (а переносчиком ее служит кровь) нарушается, он сразу дает об этом знать, например головной болью. Поэтому в таких случаях головную боль можно снять, выпив стакан крепкого сладкого чая (крепкого потому, что в таком чае достаточно кофеина, обладающего свойством расширить сосуды головного мозга и улучшать в нем кровообращение). Спортсменам при сильном утомлении (или перед стартом) прием нескольких кусочков сахара облегчает состояние. Но способность простого сахара быстро всасываться в кишечнике и поступать в кровь может повредить, если сразу съесть большое количество (100—200 г.). В этом случае уровень сахара в крови резко повысится, что перегружает работу почек, «выбрасывающих» излишек сахара с мочей.

Сравнивая содержание глюкозы в крови, притекающей к печени и оттекающей от нее, ученые установили, что часть глюкозы задерживают клетки печени, а остальная часть током крови разнесится по всему телу. Глюкоза, оставшаяся в печени, превращается в сложное углеводное соединение — гликоген, который из-за сходства с крахмалом называют «животным крахмалом». Гликоген задерживается в клетках печени в виде нерастворимых блестящих микроскопических глыбок. Но печень задерживает глюкозу лишь в том случае, когда содержание глюкозы, поступающей в кровь из кишечника, превышает десятую долю процента. В противном случае концентрация глюкозы в крови, протекающей через печень, не меняется.

Глюкоза — топливо животного организма. Без нее не может работать ни один орган. Распадаясь, она обеспечивает наш организм необходимой энергией. Важную роль в этом процессе играет фосфорная кислота, соединяясь с которой глюкоза превращается в фосфорные эфиры, которые и подвергаются распаду. Вместо глюкозы пища может со-

держат другой сахар, например, галактозу, входящую в состав молочного сахара; этот сахар предварительно превращается в глюкозу, которая затем сгорает в организме. Но когда кровь доставляет глюкозу к молочной железе, она превращает глюкозу в галактозу, из которой образуется молочный сахар — лактоза. Некоторые органы используют глюкозу непосредственно как источник энергии. Тогда она сгорает до углекислого газа и воды. Это происходит, например, в мозгу¹.

Другие органы вначале превращают глюкозу в гликоген, а уж последний используют как источник энергии. Это относится главным образом к мышцам. В деятельном состоянии они потребляют в три-четыре раза больше сахара, чем в состоянии покоя. Каким же образом покрываются потери сахара во время работы?

Концентрация сахара в крови — величина довольно постоянная, снижение сахара в крови до половины нормы вызывает судороги и действует на организм губительно. Можно ли представить себе, что убыль сахара в крови непрерывно пополняется глюкозой, поступающей из кишечника? Конечно, нет. Ведь между приемами пищи бывают большие перерывы, а даже при длительном голодании содержание сахара в крови все же остается на одном и том же уровне.

В сохранении постоянного уровня сахара в крови, т. е. в равномерном обеспечении всех органов топливом, главную роль играет печень. Интересно, что клетки печени и мышц по-разному относятся к глюкозе. Печень как бы широко раскрывает свои ворота перед этим сахаром: чем больше глюкозы, тем большее ее количество переходит в печень. Клетки мышц более разборчивы. В покое они даже чинят препятствия доступу в них глюкозы. Требуется определенная затрата энергии, чтобы преодолеть этот барьер. Но работа делает мышечные клетки значительно более гостеприимными, и в работающую мышцу доступ глюкозы облегчен. Если в организм поступает много сахара, излишек его откладывается в печени в виде гликогена (рис. 14). Это как

¹ Окисление углеводов в тканях нашего организма (с выделением энергии, накапливающейся в фосфорных соединениях, в частности в АТФ) идет в основном двумя путями: вне доступа кислорода — анаэробный распад — гликолиз и гликогенолиз, с доступом кислорода — аэробный распад (тканевое дыхание). Вторым путем дает несравненно больше энергии и наш мозг отдает ему предпочтение.

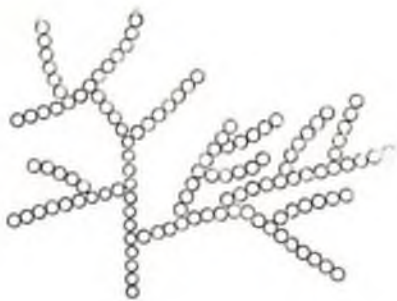


Рис. 14. Схема строения молекулы гликогена; кружочки — остатки глюкозы

бы резервный склад топлива. Как только органы и ткани начинают испытывать потребность в сахаре, гликоген печени превращается в глюкозу, которая поступает в кровь. Запасы гликогена в печени достигают 150 г. При голодании и мышечной работе эти запасы уменьшаются. Исследования показывают, что кровь, оттекающая от печени голодающих животных, содержит больше сахара, чем поступающая в нее.

Однако подсчет говорит о том, что запасов гликогена в печени может хватить только на два-три часа интенсивной работы. Стало быть, у организма имеются какие-то другие возможности пополнять запасы сахара, и он получает его не только из углеводов, поступающих с пищей, но также из каких-то других источников. Действительно, такое предположение оправдалось. Оказалось, что молочная кислота, в которую переходит гликоген во время мышечной работы, током крови переносится в печень, где из нее путем сложных химических превращений вновь восстанавливается (ресинтезируется) гликоген. Более того, печень способна вырабатывать сахар не только из углеводов, но и из жиров и белков. При помощи этих сложных превращений печень фактически сохраняет в крови определенный уровень сахара и тем самым поддерживает и регулирует деятельность почти всех органов нашего тела.

Нельзя забывать и того обстоятельства, что жиры могут превращаться в углеводы, а в нашем теле особенно легко протекает обратный процесс — превращение углеводов в жиры. Вот почему сладости — главный враг людей, склонных к ожирению. И не только сладости, но и такие богатые углеводами продукты, как хлеб, картофель, крупяные и макаронные изделия. Из рациона питания тучных исклю-

чают сладости еще и потому, что они обладают способностью «заставлять» поджелудочную железу выделять гормон инсулин. А этот гормон, резко понижает уровень сахара в крови и тем самым возбуждает чувство голода.

Большое количество углеводов содержат сахар, кондитерские и хлебо-булочные изделия, крупы, картофель. Поэтому при склонности к ожирению именно эти продукты необходимо резко сокращать (а иногда и полностью исключать) в рационе питания.

Но ведь фрукты и овощи также богаты углеводами. Почему же даже очень тучным людям рекомендуют эти продукты? Да и не только тучным, а вообще всем людям, особенно пожилым, больным атеросклерозом и гипертонией. Ответить нетрудно. Овощи и фрукты (кроме очень сладких, вроде винограда) — плохие поставщики энергии, богаты источниками витаминов (особенно витамина С), а также балластных веществ, необходимых для нормальной работы кишечника. Они содержат также особое вещество — тартроповую кислоту, которая мешает углеводам превращаться в жиры. И, наконец, в овощах много солей калия, которые «выгоняют» из нашего тела воду и этим облегчают работу сердца по «перекачке» жидкостей.

Превращениями углеводов в клетках нашего тела ведают многие ферменты — ферментные системы, в работе которых участвуют разные водорастворимые витамины, (в первую очередь тиамин, никотиновая кислота).

Вода и минеральные вещества

Вода играет исключительно важную роль в жизненных процессах не только как обязательная составная часть всех клеток тканей тела, но и как среда, в которой протекают все химические превращения, связанные с жизнедеятельностью организма. Не надо думать, что содержащаяся в наших клетках вода играет пассивную роль. Вода активно участвует в разнообразнейших реакциях. Легко подсчитать, что для сгорания 100 г углеводов потребляется около 120 г воды, 100 г жира — 30 г воды и 100 г белка — 150 г воды. Если ежедневно в организм поступает 100 г белка, 100 г жира и 500 г углеводов (для удобства мы округляем цифры), то на их сгорание используется почти 1000 г воды и это по минимальной оценке. Достаточно сказать, что ежесуточный обмен белка (при поступлении 100 г с пищей) составляет не 100, а 400 г. Можно допустить, что не менее 25% всей клеточной воды постоянно обновляется. Таким образом, в организме существует химический круговорот воды.

Вода составляет около 75% веса тела взрослого человека, а новорожденных и того больше. Количество воды в отдельных органах и тканях разное. Так называемые биологические жидкости организма — слюна, желудочный сок, моча, молоко кормящей матери и т. п. — содержат очень много воды: 90—99%. В крови ее около 83%; несколько меньше — 70—80% — в таких органах, как головной и спинной мозг, сердце, легкие, почки, печень, мышцы, кожа, соединительная ткань; а кости содержат всего лишь около 15—20% воды. Уже одни эти цифры достаточно убедительно говорят об очень большой и важной роли этой

жидкости в человеческом организме. Наибольшее количество воды содержат мышцы. Это и понятно, так как по весу они составляют свыше 40% общей массы человеческого тела. А кровь, хотя и содержит воды больше, чем мышцы, по отношению к общему весу тела составляет только 5—7%. Несколько больше воды приходится на долю нашей кожи. Две трети воды тела приходится на внутриклеточную жидкость и одна треть на внеклеточную. Эти жидкости отличаются по солевому составу. Во внеклеточной жидкости (лимфа, плазма крови, так называемая интерстициальная жидкость), как бы омывающей все части организма, содержатся больше натрия, хлоридов, бикарбонатов; внутриклеточная жидкость богата калием.

Заслуживает внимания следующее, на первый взгляд, загадочное явление: сердечная мышца содержит около 80% воды, а кровь — 83%. Разница, как видно, небольшая. Между тем сердечная мышца достаточно тверда, плотна, а кровь представляет собою жидкость. Это объясняется тем, что одни ткани имеют особое, только им присущее тонкое строение, дающее возможность связывать и делать неподвижными довольно большие количества воды, а другие в силу строения такой способностью не обладают.

Помимо воды, вводимой извне, и в самом организме в результате совершающихся в нем химических процессов, особенно при окислении жиров, за сутки образуется примерно 500 мл этой жидкости. Вода, поступившая извне, а также образовавшаяся в результате жизнедеятельности организма, регулярно выводится из него. Здоровый человек выделяет воды примерно на 10—12% больше, чем ее поступает с пищей.

Вода выводится из организма несколькими путями: через почки с мочой, через кожу с потом, легкими во время дыхания и кишечником в процессе дефекации. С мочой выводится небольшая часть воды, за сутки выделяется примерно 1,5 л. Однако ее количество не всегда одинаково. Оно колеблется в зависимости от многих причин: от того, сколько человек выпил жидкости, чем питался, сколько съел соли, потел ли он. После обильного питья моча выделяется естественно больше, после сильного потения — меньше.

Вместе с мочой из организма выводится избыточное количество минеральных солей и, что особенно важно, некоторые ядовитые органические соединения — мочевина,

мочевая кислота, аммиак, возникающие в результате обмена веществ; эти продукты принято называть «шлаками». Чрезмерное накопление их в организме, как это бывает у некоторых больных, приводит к отравлению. А при очень резкой и длительной задержке «шлаков» может даже наступить весьма тяжелое угрожающее жизни состояние — уремия.

Очень большое значение для жизнедеятельности организма имеет выделение жидкости в виде пота. Количество его весьма непостоянно, так как зависит от многих условий — температуры воздуха, степени его влажности и скорости движения, объема и характера выполняемой работы. Кроме того, некоторые люди потеют легко, а другие — с трудом: это зависит от состояния нервной системы и деятельности желез внутренней секреции. Обычно за сутки испаряется 500—600 мл пота, но при некоторых условиях, например, в жарком и сухом климате, в горячих цехах, после применения потогонных процедур может выделиться гораздо больше: более 5—6 л.

Потение не только один из способов освобождения организма человека от воды, но и основной особо важный механизм, регулирующий постоянство температуры нашего тела.

Выделение из организма воды через легкие, во время дыхания, для людей имеет меньшее значение. Этим путем взрослый человек выводит около 300 мл воды в сутки. Еще меньше воды выделяется через кишечник с калом — примерно 150 мл. Следует подчеркнуть, что все процессы, связанные с обменом воды в организме, — всасывание ее, поступление в кровь, распределение между тканями и, наконец, выделение из организма — регулируются нервной системой.

Какова же суточная потребность в воде? Принято считать, что на каждый килограмм веса здорового человека требуется в течение суток приблизительно 35 мл воды. Таким образом, суточная потребность человека, весящего 70 кг, в воде составляет около 2,5 л. Это количество складывается примерно следующим образом: из 1 л воды из разных напитков и первого блюда обеда; 1 л, поступающего с пищевыми продуктами, и 500 мл, которые образуются в организме в результате обмена веществ. Грудным детям на каждый килограмм веса необходимо воды в три или даже в четыре раза больше.

Потребность в воде зависит от условий внешней среды, в которой находится организм, и от особенностей его жизнедеятельности. Поэтому 35 мл на один килограмм веса тела в сутки для взрослого человека — лишь средняя ориентировочная норма.

Итак, воду, находящуюся в организме, можно разделить на следующие виды: 1) вода, находящаяся в сосудах (кровь, лимфа); 2) вода межклеточных пространств (ее удается отжать из мертвых тканей с помощью пресса, она содержит весьма различные количества растворенных в ней веществ); 3) вода, находящаяся в клеточных элементах (вода эта связана с протоплазмой, ее можно удалить не простым отжиманием, а только центрифигурованием); 4) вода, содержащаяся в полостях (в нормальных условиях ее немного, в патологических же условиях ее может накопиться очень значительное количество — в виде трансудата).

Распределение воды в организме подчиняется законам равновесия: количества воды, распределенные между различными участками организма, должны находиться между собой в подвижном равновесии. В обычных условиях нарушенное равновесие быстро возвращается к норме. При некоторых же болезненных состояниях возврат к норме может очень задержаться, а иногда он даже совсем не наступает до окончания болезни.

Водное равновесие в организме регулируется нервной системой и железами внутренней секреции, а также часто физическими факторами — гидростатическим и осмотическим давлением.

Солевой обмен теснейшим образом связан с водным обменом. Передвижение солей в организме невозможно рассматривать независимо от обмена воды, поскольку большинство минеральных соединений находится в теле в водных растворах. Соли, подобно воде, не доставляют энергии для организма, однако значение их для нормативной жизнедеятельности очень велико. Соли входят во все клетки и ткани и являются их необходимой составной частью.

Поваренная соль очень важна для человека. Резкий недостаток ее приводит к ряду нарушений в организме: обезвоживаются ткани, расстраивается кровообращение, теряется аппетит, понижается умственная деятельность. Эти нарушения в большинстве случаев наступают не от того, что в пище не хватает поваренной соли, а из-за боль-

ших потерь соли при некоторых болезнях, сопровождающихся рвотой, поносами, чрезмерным потоотделением. Вследствие таких потерь соли вода хуже задерживается в организме, человек испытывает жажду, много пьет, и страдая от недостатка соли, не понимает этого и не просит ее дополнительно.

Поваренная соль представляет собой в основном хлористый натрий с незначительной примесью других минеральных солей—солей магния и кальция, а также весьма полезных для организма микроэлементов, таких, как медь, железо и др. Поваренная соль участвует в регулировании содержания жидкости в крови и тканях, влияя на мочеотделение и образование пота. Соль необходима для того, чтобы железы желудка вырабатывали в достаточном количестве соляную кислоту. Соль влияет на деятельность нервной системы, почек и кровообращение. В организме взрослого человека содержится около 300 г соли; за год он съедает ее примерно 5,5 кг.

Почему же грудной ребенок растет и развивается нормально на одном материнском молоке, без добавления соли в его пищу? Животные и птицы, живущие на свободе, не употребляют поваренной соли. В Африке и некоторых других странах до сих пор есть народности, не знающие поваренной соли и совсем не пользующиеся ею.

При некоторых заболеваниях врачи сознательно ограничивают количество употребляемой человеком соли. В таком случае вся пища в том числе и хлеб, готовятся без соли. Такая бессолевая диета способствует быстрейшему выздоровлению.

Почему же в некоторых случаях можно жить, не добавляя к пище соль? Потому, что в суточном пищевом рационе человека, состоящем из разнообразных продуктов, содержится до 4 г поваренной соли, т. е. именно то необходимое количество, которого хватает для обеспечения наших жизненных потребностей. Грудной ребенок получает ее с материнским молоком: в литре этого молока — около 0,1 г поваренной соли. В коровьем молоке поваренной соли в пять раз больше. Выпивая в день пол-литра молока, мы получаем 0,25 г соли. Много соли в треске, окуне, камбале и другой морской рыбе. Но мы все же добавляем в пищевые продукты соль и делаем это потому, что она вызывает особые вкусовые ощущения. Соль является и своеобразным возбуждителем, стимулирующим нервную деятельность.

Добавление поваренной соли в пищу стало у человека жизненной потребностью.

В результате многовекового применения поваренной соли установилась и норма суточной ее потребности. Физиологической суточной нормой поваренной соли для взрослого человека в условиях среднего климата считается 12—15 г. В это количество входит соль, содержащаяся в натуральных пищевых продуктах, добавляемая к муке при выпечке хлеба, к рыбе при ее посоле, а также варки пищи и за столом.

Чрезмерное потребление соли вредно для здоровья: нарушается деятельность сердца и почек, могут опухать ноги в связи с задержкой жидкости в организме, развивается общая слабость, изменяется состав крови и тканей, может также начаться понос в связи с расстройством деятельности кишечника. Людям, страдающим гипертонической болезнью, недостаточной сердечной деятельностью, болезнью почек, необходимо употреблять не более 5—6 г поваренной соли в день.

У человека часто наблюдается отложение солей. Связанные с этим нарушения характеризуются тем, что растворенные соли становятся нерастворимыми и выпадают в виде осадка (песка). Выпадения происходят преимущественно в желчном пузыре, печени, почках, мочеточниках, мочевом пузыре. Осадок раздражает желчные и мочевые пути и способен вызвать воспалительные процессы. Иногда образуются камни. Нерастворимые соли могут отлагаться в суставах, хрящах, мышцах, вызывая так называемые подагрические заболевания.

Отложение солей всегда связано с нарушением обмена веществ, и в частности минерального обмена. Причины отложения солей различны. Одна из причин нарушения обмена веществ — однообразный рацион питания. Однообразное питание даже свежими доброкачественными продуктами отражается на солевом обмене.

Фрукты и овощи, особенно такие, как кабачки, арбузы, огурцы, тыква, усиливая выделение из организма жидкости, выводят с нею и соли. Меры предупреждения и лечения отложения солей зависят от индивидуальных особенностей организма.

Великолепная восьмерка

Великолепная восьмерка — так можно назвать специальные органы нашего тела — железы внутренней секреции¹, вырабатывающие замечательные химические вещества — гормоны. Эти вещества выделяются в кровь и доставляются в различные органы и ткани, которыми они безраздельно распоряжаются. При этом гормоны воздействуют и на нервные окончания, которые имеются в органах. В свою очередь центральная нервная система (кора головного мозга) держит под контролем железы внутренней секреции, направляя в них импульсы, усиливающие или ослабляющие их деятельность. Таким образом железы внутренней секреции тесно связаны с центральной нервной системой в деле регуляции химических процессов обмена веществ в нашем теле, но каждая железа работает самостоятельно.

Щитовидная железа вырабатывает гормоны, содержащие йодтироксин и трийодтиронин. Необходимый для этого йод поступает из крови (он входит в молекулу аминокислоты тирозина).

Как действуют гормоны щитовидной железы на химизм организма человека? Избыток этих гормонов как бы подстегивает общий обмен веществ, уровень которого может повыситься почти вдвое. Но работоспособность, которая должна была бы при этом повыситься, значительно снижается. Это объясняется тем, что при усиленном выделении гормонов — гиперфункции — повышается обмен белков, мышцы теряют очень важное для них азотистое

¹ Так их называют из-за отсутствия выводных протоков, вследствие чего гормоны поступают непосредственно в кровь.

вещество — креатин, переходящий в мочу. Может даже возникнуть отрицательный азотистый баланс. Организм обедняется и жирами, а на обмене углеводов гиперфункция сказывается в обеднении печени гликогеном. Обмен веществ в костях повышается, вследствие чего резко увеличивается выделение организмом кальция и фосфатов (солей фосфорной кислоты).

И, наконец, гиперфункция щитовидной железы повышает активность многих ферментов, «работающих» внутри клеток. А вот гипофункция — недостаточное производство гормонов этой железы — сопровождается явлениями обратного порядка: замедляется обмен веществ, останавливается рост тела, что вызывает карликовость и кретинизм (отставание психического развития).

Рассмотрим деятельность следующей железы внутренней секреции — надпочечников. В надпочечных железах необходимо различать два четко разграниченных отдела, работающих по-разному: мозговое вещество и кору. Гормоны мозгового вещества — адреналин и норадреналин — очень близки друг к другу по химическому строению и по действию на кровообращение: они суживают сосуды (но в тканях, особенно в мышцах, адреналин расширяет сосуды), повышает частоту сердечных сокращений. Сходство на этом кончается. Норадреналин не оказывает действия на химизм организма, тогда как адреналин повышает обмен веществ, усиливает мышечную работоспособность и расщепление гликогена в печени (и в мышцах), вследствие чего увеличивается содержание сахара в крови.

Действие адреналина объясняется тем, что он активизирует в печени и мышцах фермент фосфорилазу, который ускоряет распад гликогена. Адреналин и продукты его превращения по своей химической природе относятся к так называемым симпатинам — химическим передатчикам (медиаторам) импульсов от симпатических нервов к органам.

Адреналин — очень нестойкое, легко окисляющееся вещество. Но у него имеется в нашем теле верный друг — аскорбиновая кислота (витамин С), которая не только содействует строительству молекулы адреналина из аминокислоты (тирозина), но и предохраняет ее от влияния окисляющих веществ.

Следует ли считать адреналин незаменимым для организма человека гормоном? Теоретически говоря, можно было бы обойтись без него, так как его «работу» сумела

бы непосредственно взять на себя первая система. Но опыты, в которых у животных удаляли мозговую часть надпочечников, вырабатывающую адреналин, не доказывают, что можно жить без адреналина, так как в организме имеются добавочные тельца такого же строения, которые могут вырабатывать этот гормон. Да и как обходиться без адреналина, который регулирует работу многих органов. Впрочем, основное значение этого гормона заключается в усилении работы мышц. Как это происходит?

Мы уже говорили о том, что адреналин усиливает расщепление гликогена в печени, которая наводит кровь образующимся при этом виноградным сахаром — глюкозой. Кровь разносит глюкозу по тканям. Одновременно в мышцах усиливается распад гликогена с образованием молочной кислоты, другими словами, происходит, то, что наблюдается в работающей мышце. Имеются все основания полагать, что из молочной кислоты снова образуется (ресинтезируется) глюкоза, а это связано с усилением окислительных процессов. В результате возрастают потребление кислорода и образование тепла.

Повышая кровяное давление, усиливая деятельность сердца, снижая утомляемость мышц, углубляя дыхание, адреналин как бы приводит весь наш организм в состояние боевой готовности. В свою очередь мышечная работа, сильные волнения увеличивают поток нервных импульсов к железе и повышают выделение (секрецию) его адреналина. Отметим здесь же, что адреналин повышает содержание сахара крови только пока имеется соответствующее количество расщепляемого под его влиянием гликогена в печени. Поэтому при сахарной болезни адреналин, благодаря «переходящему» характеру действия, не играет существенной роли в нарушении обмена веществ.

Итак, адреналин отличается сахароповышающим действием, а инсулин — сахаропонижающим. Отсюда, казалось бы, один шаг до вывода, что оба гормона — непримиримые враги, всегда действующие наперекор друг другу, и что сахарная болезнь — результат «схватки», в которой адреналин берет верх над инсулином. В действительности это не так. Конечно, некоторый антагонизм между адреналином и инсулином существует. Но оба гормона могут работать и над общей целью — содействовать использованию глюкозы в организме. Такое содружество принято называть синергизмом.

Выше мы упоминали, что корковая часть надпочечников очень важна для организма: удаление ее неизменно сопровождается гибелью животного. Кора (по-латыни «кортекс») вырабатывает десятки гормонов. Но так как большая часть этих гормонов химически неустойчива (они легко превращаются друг в друга), то, вероятно, многие из них не являются истинными кортикоидными (корковыми) гормонами. Настоящих гормонов всего пять, и их можно разделить на две группы: минералокортикоиды и глюкокортикоиды. Первые — дезоксикортикостерон и особенно альдостерон — играют роль ОРУДА водно-солевого обмена. Они обладают способностью задерживать в нашем теле (в крови и тканевой лимфе) воду и натрий и снижать содержание калия. В результате этого через почки и мочу уходит много калия и очень мало натрия. Все органы нашего тела чувствительны к сдвигам, которые изменяют их деятельность. При этом изменяется проницаемость клеток: калий проникает в них легко, а проникновение натрия внутрь клетки замедляется. Это главная черта действия минералокортикостероидов. Но они влияют не только на минеральный обмен. Под их воздействием в печени и почках усиливается отщепление азота от аминокислот (дезаминирование), в связи с чем моча выделяет больше азота. Увеличивается и общий обмен белков. Но на обмен белков в гораздо большей степени влияют глюкокортикоиды: кортизол, кортизон и кортикостерон. Эти гормоны усиливают распад белков и аминокислот и, следовательно, выделение азота из организма. Мы видим, что, несмотря на свое название, глюкокортикоиды вмешиваются в обмен белков (и липидов). Все же название это оправдано, потому что в результате такого вмешательства происходит новообразование глюкозы, которую глюкокортикоиды «защищают» от окисления. А мышцы «уступают» свой гликоген печени, которая усиливает его накопление. В общем действие глюкокортикоидов в организме напоминает то, что происходит в нем при сахарной болезни — диабете.

И все же разница между минерало- и глюкокортикоидами не очень отчетлива, так как первые могут влиять и на обмен углеводов, а вторые воздействуют и на водно-солевой обмен нашего организма.

Современная медицина сумела использовать замечательное свойство глюкокортикоидов подавлять процессы воспаления и так называемую аллергию. Эти процессы

очень опасны: они характерны, например, для таких тяжелых заболеваний, как острый ревматизм и бронхиальная астма. В таких случаях препараты глюкокортикоидов могут действовать как замечательные лекарства. Недостатком подобных лекарств могут быть нежелательные явления со стороны минерального обмена, что требует большой осторожности при их использовании.

Таковы основные черты химизма действия кортикоидных гормонов. Недостаток их вызывает явления обратного порядка. Поэтому организм строго следит за работой коры надпочечников и регулирует ее действием специального адренокортикотропного (т. е. действующего на кору надпочечников гормона, сокращенно АКТГ, который вырабатывается другой железой — гипофизом).

Родоначальником кортикоидных (и половых) гормонов является холестерин, поэтому их называют также стероидными гормонами. Следовательно, кортикоиды и половые гормоны — близкие родственники, и не удивительно, что половые гормоны могут вырабатываться (правда, в небольшом количестве) и в коре надпочечников.

Кортикоидные гормоны, выполнившие свою работу, начинают разрушаться печенью, и продукты распада выводятся в основном с мочой. Некоторые гормоны, не подвергаясь распаду, выделяются в виде соединений с глюкуроновой (а иногда и серной) кислотой. Определяя количество выделяющихся стероидных гормонов, врачи могут получить представление о работе коры надпочечников.

В тех случаях, когда кора надпочечников начинает «шалить», наблюдается гиперфункция или гипофункция деятельности этой железы, что вызывает различные заболевания. Повышенная выработка альдостерона ведет к гипертонии, снижению содержания калия и повышению уровня натрия в плазме крови. Иногда кора «путает»: вместо кортизола усиливает выработку полового мужского гормона андрогена, что у женщины может привести к маскулинизации — мужеподобности. Недостаток деятельности коры надпочечников может вызвать тяжелую «аддисонову» болезнь.

Очень важную роль в деятельности нашего организма играет поджелудочная железа, вырабатывающая инсулин — белковый гормон, управляющий в основном углеводным обменом. Инсулин (по-латыни «инсула» — остров) образуется в особых островках клеток в поджелудочной железе. Большая часть железы участвует в процессе

пищеварения. В этом случае она ведет себя как железа внешней секреции, но вторая ее «профессия» — выделение гормона инсулина, т. е. проявление внутренней секреции.

Как действует инсулин? Это единственный гормон, вызывающий понижение содержания сахара в крови, вмешиваясь в работу печени и мышц. Инсулин задерживает два противоположных процесса: распад гликогена и новообразование этого сложного углевода. Таким образом в печени сохраняется определенный уровень гликогена, а отдача глюкозы в кровь тормозится. А в мышцах инсулин усиливает использование глюкозы, способствуя ее окислению и образованию гликогена.

Но этим действие инсулина не ограничивается. Он как бы подавляет стремление аминокислот уклониться от участия в строительстве молекулы белка и превратиться в глюкозу и побуждает их заняться своей прямой «обязанностью» — участвовать в синтезе белка. Инсулин влияет и на обмен жирных кислот: задерживает распад и повышает синтез. Бурная деятельность инсулина проявляется и в том, что он может, например, понизить уровень сахара в крови ниже допустимых пределов. Такое состояние (гипогликемия) опасно в первую очередь для нашего мозга. В этом случае островки поджелудочной железы выпускают другой гормон — глюкагон, который повышает уровень сахара в крови, напоминая этим (и только этим) действие адреналина.

Совершенно иной характер носит деятельность других желез. Две пары крохотных телец, расположенных у задней поверхности щитовидной железы (их поэтому называют паращитовидными железами) заняты производством мощного паратгормона, представляющего собой белковоподобное соединение. Этот гормон регулирует обмен кальция и фосфора, усиливая работу особых клеток (остеобластов), разрушающих костную ткань. При этом освобождается кальций, который переходит в кровь и в большом количестве выделяется с мочой.

Иногда деятельность паращитовидных желез отклоняется от нормы: они вырабатывают то недостаточное, то избыточное количество гормона. В обоих случаях организм испытывает неблагоприятное воздействие. Избыток гормона «выгоняет» кальций и фосфор из организма; в крови содержание кальция увеличивается, а фосфора, наоборот, уменьшается. Происходит усиленное разрушение ко-

стной ткани, кости легко искривляются. При недостатке гормона содержание кальция в крови уменьшается, а фосфора увеличивается; выделение их с мочой снижается. Нарушается работа главной химической лаборатории нашего тела — печени. Усиливается возбудимость нервов и мышц, могут появиться внезапные припадки судорог. Чаще это наблюдается у беременных женщин и детей.

Половые железы (мужские — семенники и женские — яичники) играют важнейшую роль в процессах, связанных с размножением. Гормоны семенников называют андрогенами (греческое «андрос» — мужчина, «генос» — род). Самый важный из них — тестостерон. Эти гормоны способствуют развитию половых органов мужчины и его вторичных половых признаков. Яичники вырабатывают гормоны — эстрогены (греческое «эстрос» — страсть, «генос» — род), среди которых особую важную роль играют эстрадиол и близкий к нему эстрон (фолликулин).

Половые гормоны — малоустойчивые соединения, которые легко превращаются в менее активные или совсем неактивные вещества (главным образом в печени). Надо полагать, что и мужские, и женские половые железы обладают способностью вырабатывать оба гормона, и мужской и женский, разница в количественных соотношениях (этой же способностью обладают и надпочечные железы).

Все половые гормоны — химические родственники холестерина. Интересно отметить, что искусственным путем получены вещества, химически далекие от холестерина, но проявляющие эстрогенную активность. К сожалению, биохимический механизм действия половых гормонов пока еще далек от выяснения. Можно только с уверенностью сказать, что они влияют (повышая ее) на активность ряда ферментов, в первую очередь ферментов, участвующих в клеточном дыхании.

Еще менее изучены гормоны двух желез: зубной и шишковидной. Обычно зубная железа работает только в детском возрасте, но известны случаи, когда она увеличивается у взрослого человека, что является причиной тяжелой, все нарастающей мышечной слабости, а гормон шишковидной железы вообще неизвестен.

Теперь мы остановимся на одной небольшой железе, которая вырабатывает гормоны, регулирующие деятельность не только органов нашего тела, но и их регуляторов — других желез внутренней секреции. Это мозговой

придасток — гипофиз, в котором различают переднюю долю — аденогипофиз и заднюю долю — нейрогипофиз.

Аденогипофиз занимает особое место. Это универсальный орган внутренней секреции, действующий на обмен углеводов, жиров, белков, рост организма и на многие другие железы внутренней секреции. Он вырабатывает несколько гормонов, которые способствуют ускорению роста (гормон роста), выделению молока — лактации (пролактин), действует на щитовидную железу (тиротропный гормон), стимулирует кору надпочечников (адренокортикотропный гормон — АКТГ), на половые железы (гонадо-тропные гормоны). Аденогипофиз вырабатывает и меланофорный гормон, который влияет на красящее вещество — меланин, содержащийся, например, в сетчатке глаза.

Расстройство деятельности аденогипофиза может привести к чрезмерному похуданию или, наоборот, к ожирению.

Недостаток деятельности железы по выработке гормона роста может сделать детей карликами, повышенная работа железы привести к гигантизму, а у взрослых людей — к акромегалии — ненормальному росту конечностей, челюсти, языка и других органов.

В чем заключается вмешательство гормонов гипофиза в химизм нашего тела?

Гормон роста влияет на обмен белков, стимулирует их синтез в первую очередь в мышцах, меньше в печени. Как следствие этого с мочой выделяется меньше азота (ведь азотистые вещества — аминокислоты — расходуются на строительство молекул белков) и уровень аминокислот в плазме крови также снижается. В этом отношении гормон роста противодействует упоминавшемуся выше адренокортикотропному гормону, который повышает распад белков. Гормон роста как бы заботится об экономии расходования белков, поставляя вместо них жиры, распад которых при этом повышается, а печень захватывает жиры и образует кетоновые тела. Гормон роста действует также в противовес инсулину и как бы подталкивает организм к сахарной болезни, так как снижает использование глюкозы и повышает ее уровень в крови. Наконец, гормон роста способствует развитию воспалительных процессов, тогда как адренокортикотропный гормон их угнетает.

Тиреотропный гормон воздействует на щитовидную железу, в которой активизирует деятельность ферментов — про-

теаз, высвобождающих гормон этой железы — тироксин. Одновременно наблюдается обратная связь между уровнем тироксина в крови и выделением тиреотропного гормона в кровяное русло (адrenalин тоже повышает выделение этого гормона). В плазме крови тиреотропный гормон путешествует не один, с ним тесно связан белок: бета-глобулин.

Адренокортикотропный гормон — АКТГ — вещество белковой природы (точнее, полипептид, состоящий почти из сорока аминокислот). Химикам уже удалось синтезировать вещество, похожее на АКТГ. Гипофиз под влиянием различных воздействий (нервной системы, специального гормона промежуточного мозга, адrenalина) способен сразу выбрасывать большие количества АКТГ, которые тотчас снижают в надпочечниках содержание холестерина и аскорбиновой кислоты (витамина С), способствуют образованию кортикоидных гормонов, освобождению и переходу их в кровь. Но кортикоидные гормоны, наоборот, тормозят освобождение АКТГ из гипофиза. Меланофорный гормон (фактически их два, и оба уже получены синтетически) очень похож по составу на АКТГ, но отличается от него тем, что действует только на образование красящего вещества (пигментацию) в сетчатке глаза, возможно, и кожи (например, потемнение ее при беременности).

Задняя доля гипофиза вырабатывает два гормона: окситоцин и вазопрессин. Они оказались в близком химическом родстве (пептиды, состоящие из девяти аминокислот), и оба уже синтезированы химиками. Действуют эти гормоны в одной области, способствуя сокращению беременной матки, выделению молока, снижению образования мочи, повышению кровяного давления. Только первыми двумя процессами занимается больше окситоцин, а последним двум отдает предпочтение вазопрессин. Можно с уверенностью сказать, что вазопрессин способствует пропусканию воды через оболочки клеток.

Различные периоды жизни нашего организма характеризуются определенными «комбинациями» действий различных гормонов. Таким образом можно всегда обнаружить характерные черты в деятельности желез внутренней секреции в детстве, в период половой зрелости, старости, менструаций и беременности. Так, например, при беременности яичники вырабатывают гормон релаксин (белковое вещество), который, разрыхляя соединительную ткань, облегчает раздвигание костей таза во время родов.

В заключение можно сказать, что эндокринные железы — мощный регулятор процессов, протекающих в организме, контролируемых нервной системой. Как осуществляется этот контроль?

Пожалуй, лучше всего обратиться к молекулярной биологии — науке, бурно развивающейся за последние годы и занимающейся изучением всего живого на молекулярном уровне, другими словами, изучающей реакции между молекулами в живом организме. Чем отличаются реакции в живом организме от подобных реакций в неживой природе?

На это, несколько упрощая, можно кратко ответить: скоростью реакций, катализируемых специальными ускорителями — ферментами. К этому надо добавить: и упорядоченностью, потому что в неживой природе реакции протекают на основе столкновения беспорядочно рассеянных в пространстве молекул. В простейшей же представительнице живого мира — клетке, молекулы пространственно закреплены на матрице, а это обеспечивает не только строго определенное направление химической реакции, но и необычайную скорость таких реакций.

Обмен веществ в простейшем одноклеточном организме регулируется путем изменения скорости ферментативных реакций. Такая клетка может существовать, приспосабливаясь, т. е. «адаптируясь» к условиям внешней среды. Она адаптируется, мобилизуя по мере надобности свои ферменты, часть которых при обычных условиях, вероятно, «не занята» работой и находится в резерве.

Но наш организм состоит из триллионов клеток, неспособных к самостоятельному существованию. Их объединяет одно качество: все они участвуют в общем обмене веществ, в котором скорость ферментативных реакций регулируется центральной нервной системой. Осуществляет она это в тесном контакте с железами внутренней секреции и их гормонами.

Мы уже говорили выше о процессах, идущих в организме при помощи ферментов. Один из самых мощных механизмов регулирования, используемых центральной нервной системой, — нервные импульсы, постоянно поступающие в ткани нашего тела. Они обеспечивают упорядоченный, т. е. «матричный», синтез белков, в частности белков-ферментов, поддерживают химическую организацию клеток и их способность воспринимать «указания» верховного регулятора.

Большая химия нашего тела

Пищеварение

Пищеварение начинается, как известно, с ротовой полости, в которой происходит размельчение, увлажнение и обработка пищи специальными веществами — ферментами, изменяющими ее химический состав. Естественно, что вместе с пищей могут попасть различные болезнетворные микробы. В этом случае действуют защитные свойства слизистой оболочки ротовой полости. Слюна, выделяемая в полость рта железами, содержит особый обеззараживающий фермент — лизоцим. Благодаря ему царапины и раны в слизистой оболочке ротовой полости заживают, как правило, значительно быстрее, чем, например, на поверхности тела. Каждому случалось видеть, как собакализывает свои раны. Она инстинктивно использует при этом действие лизоцима.

Слюна обладает также способностью нейтрализовать кислую пищу. Первая атака ферментов на пищу начинается в полости рта, так как слюна содержит фермент амилазу, расщепляющий крахмал.

Основная функция следующих отделов — глотки и пищевода — заключается в быстром проведении (проглатывании) размельченного и увлажненного пищевого комка в полость желудка. Вот почему слизистая оболочка здесь чрезвычайно гладкая и скользкая.

В желудке пища находится в течение нескольких часов и подвергается значительной химической переработке. Под влиянием желудочного сока крупные молекулы белка превращаются в более мелкие. Защитное значение слизистой оболочки желудка велико. И это понятно. Ведь в желудок

поступает пища, уже измельченная и увлажненная, и повредить стенки желудка она не может.

Главная функция слизистой оболочки желудка — химическое воздействие на однородную пищевую массу. Это и определяет ее строение. Эпителий желудка состоит из одного слоя клеток, которые выделяют слизь и в виде инертного пепсиногена фермент пепсин, расщепляющий белки. Слизь вырабатывается поверхностными клетками, а фермент — клетками, образующими трубчатые железы, погруженные в толщу слизистой оболочки. Но для того чтобы пепсин начал воздействовать на белки пищи, необходима кислая среда. Соляную кислоту в желудок доставляют трубчатые железы.

Соляная кислота активизирует пепсиноген, превращая его в пепсин, который начинает энергично расщеплять белки, но не все с одинаковой легкостью. Пепсин легко справляется с белками мяса и яиц, очень медленно с белками хрящей и сухожилий. Интересно, что пепсин «пренебрегает» протаминами — белками, молекулы которых очень невелики.

Свою разрушительную работу пепсин не доводит до конца: до химических «кирпичиков» — аминокислот, из которых построена молекула белка. Он как бы разбивает эту молекулу на крупные осколки — полипептиды, состоящие из четырех или восьми аминокислот. При этом могут «отскачить» и отдельные «кирпичики» — аминокислоты.

Нужен ли нам желудок? Ведь встречаются люди, у которых он полностью или частично удален после операции, а ферменты кишечного сока справляются с перевариванием пищи. Желудок необходим прежде всего потому, что в результате «дробления» белков пепсином резко увеличивается количество молекул (полипептидов), на которые действуют ферменты кишечника, а это значительно ускоряет дальнейшее переваривание.

Если желудочным соком воздействовать на кусочек слизистой оболочки «чужого» желудка, он его переварит. Чем же объяснить устойчивость слизистой нашего желудка к «своему» пепсину? Здесь, очевидно, существует много причин: защитное действие слизи, обволакивающей слизистую оболочку, слабощелочная реакция клеток этой оболочки (пепсин активен только при кислой реакции). Возможно, в клетках имеется антипепсин, парализующий действие пепсина, и, наконец, действие нервных импульсов,

поддерживающих устойчивость стенки желудка по отношению к желудочному соку. Ученые упорно доискиваются — в чем тут дело. А выяснить это очень важно, так как нередки случаи, когда пепсин внезапно атакует стенку «своего» желудка, в результате чего возникает язвенная болезнь.

Пепсиноген (пропепсин) при кислой реакции активизируется «сам себя», отщепляя почти пятую часть молекулы и обнажая, таким образом, свой активный центр. Он превращается в активный пепсин, который способен переварить сам себя.

В желудочном соке грудных детей и телят содержится фермент химозин, который как бы подготавливает главный белок молока казеиноген к действию пепсина, переводя его в нерастворимый казеин, в результате чего молоко створаживается. Створоженное молоко задерживается в желудке, и пепсин «успекает» его обработать.

Имеется в желудочном соке и фермент, расщепляющий жиры, — липаза, но фактически ее действию подвергается только жир молока. Поэтому этот фермент имеет большое значение в пищеварении грудных детей, питающихся только молоком. Желудочный сок содержит также сложный белок — мукопротеид, обладающий способностью связывать витамин B_{12} и способствовать его всасыванию через слизистую оболочку кишечника. Недостаточность витамина B_{12} , как известно, может привести к тяжелому заболеванию — злокачественной анемии.

Накопец, в состав желудочного сока входит гистамин — своеобразный «местный гормон», способствующий выделению соляной кислоты в желудке. Материалом для образования соляной кислоты служит хлористый натрий — $NaCl$, доставляемый кровью к слизистой оболочке желудка. Но как $NaCl$ превращается в HCl (соляную кислоту), т. е. откуда берется водород для замены натрия? Здесь, очевидно, действует обнаруженный в слизистой оболочке желудка фермент угольная ангидраза, которая добывает этот водород, соединяя молекулы углекислого газа с водой. А энергию, необходимую для доставки водорода по назначению, очевидно, доставляет вездесущая АТФ.

Поджелудочный сок — жидкость щелочной реакции, содержащая ферменты, которые расщепляют белки, жиры и углеводы. Ферменты, расщепляющие белки, содержатся в поджелудочном соке сначала в недействительном состоянии. Как только сок коснется стенки двенадцатиперстной киш-

ки, на него действует «фермент ферментов» — энтерокиназа, которая сразу переводит «главный» фермент — трипсиноген (протрипси) — в очень активный трипсин, который в свою очередь переводит другой недействительный фермент в активный химотрипсин. Оба фермента несколько по-разному продолжают дальнейшее расщепление смеси полипептидов (и «нетронутых» белков), поступивших из желудка, на еще более мелкие осколки, а частично и на аминокислоты. Окончательное расщепление белков и полипептидов завершают несколько различных пептидаз (одна из поджелудочного сока, другие — из кишечного), в результате чего молекулы белков превращаются в «груды» кирпичиков-аминокислот. Так завершается переваривание белков.

Впрочем, в кишечном соке имеются ферменты, разлагающие и некоторые аминокислоты (например, аргинин на мочевину и орнитин). Есть также ферменты, ведающие расщеплением нуклеиновых кислот на их составные части.

Переваривание жиров в кишечнике начинает содержащаяся в поджелудочном соке липаза. Это происходит с помощью желчных солей желчи, которые переводят недействительную липазу в активное состояние. Кроме того, желчные соли помогают липазе атаковать жиры, разбивая их на мелкие капли, т. е. превращая в эмульсию. Если доступ желчи в кишечник прекратится (например, при желтухе), часть жира пищи не будет усваиваться организмом. Липаза отщепляет от жиров жирные кислоты и глицерин. Желчные кислоты помогают и в этой стадии, облегчая всасывание жирных кислот. Липаза содержится в кишечном соке.

А вот переваривание крахмала, начатое амилазой слюны и приостановленное кислым содержимым желудка, возобновляется под действием амилаз поджелудочного и кишечного соков. Эти ферменты расщепляют крахмал (и гликоген) на крупные обломки, состоящие из дисахарида (мальтозы). Впрочем, «лес рубят, щепки летят»: и здесь «отлетает» небольшое количество молекул глюкозы. Мальтозу расщепляет на молекулы глюкозы фермент мальтаза, выделяющийся с кишечным соком. Здесь же содержатся ферменты сахаразы, расщепляющий сахарозу (обычный сахар), и лактаза, разбивающий молекулу молочного сахара — лактозу. Таким образом, и переваривание углеводов приводит в кишках к конечному образованию «груды» мелких обломков-кирпичиков главным образом глюкозы, небольшого количества фруктозы (из сахарозы) и галакто-

зы (из молочного сахара). Если эти сахара соединяются с фосфорной кислотой, то на этот случай в кишечном соке имеется фосфатаза, которая освобождает фосфорную кислоту из этого соединения.

Но есть сложный углевод, на который ферменты пищеварительных соков нашего тела не действуют. Это клетчатка (целлюлоза). Действительно ли она «бесполезна» как пищевое вещество и служит только балластом, способствующим перистальтике кишок (стенки которых она раздражает) и «формированию» кала? Нет, это не совсем так. На помощь кишечнику приходят обитающие в нем микробы. Они выделяют ферменты, последовательно расщепляющие клетчатку сначала на растворимые в воде осколки целлобиозы, затем на молекулы глюкозы и другие продукты, в частности органические кислоты, главным образом уксусную кислоту. Глюкоза и кислоты всасываются в кровь. Таким образом кишечные микробы успевают переработать в кишечнике половину всей клетчатки пищи. Не всасываются и выделяются из кишечника газообразные продукты работы микробов — углекислый газ, метан, водород.

Помощь кишечных микробов заключается и в том, что они синтезируют многие из необходимых человеку витаминов. Но, к сожалению, микробное население кишечника не довольствуется этим и своими ферментами атакует и некоторые аминокислоты, которые превращает в далеко небезопасные, а иногда и просто ядовитые для организма продукты: индол, фенол, скатол, крезол и особенно сильные яды — кадаверин и путресцин. Физиологические кишечные яды частично всасываются, но на страже стоят ферменты — аминоксидазы, которые быстро обезвреживают большую часть этих ядов. А индол и скатол (они придают калу его типичный запах) нейтрализует печень, связывая их с серной кислотой. В таком виде они затем выводятся из нашего организма с мочой.

Перейдем к процессу всасывания в кишках. В результате работы пищеварительных ферментов молекулы пищи становятся настолько малы, что могут свободно проникать сквозь эпителий слизистой оболочки кишечника. Начинается чрезвычайно важный для нормальной жизнедеятельности организма процесс — процесс всасывания.

Наиболее интенсивно процесс всасывания идет в той части тонкой кишки, которая является продолжением двенадцатиперстной.

В толстой кишке происходит всасывание воды и формирование пищевых остатков, которые затем выводятся из организма. В слизистой оболочке толстой и прямой кишки ворсинок нет, да они и не нужны там, так как процесс всасывания питательных веществ по существу закончился. Зато здесь много клеток и желез, вырабатывающих слизь. Эта слизь надежно предохраняет кишечник от механических повреждений, которые могут вызвать остатки пищи.

Интересно отметить, что слизистая оболочка всего пищеварительного канала обладает еще одним замечательным свойством: она подвижна, легко образует складки, может скользить вокруг пищевых масс, соприкасаться с ними своими выступами. Это в значительной мере улучшает обработку пищи, ее всасывание в организм. Подвижность слизистой оболочки обеспечивается специальной мышечной прослойкой, состоящей из гладких мышц. Сокращение этих мышц регулируется нервной системой и не зависит от нашего сознания.

А как происходит «переваривание» лекарств? Прием лекарств через рот — самый простой способ введения препарата в организм, но не всегда самый эффективный. Прежде чем попасть в кровь, лекарственные вещества проходят длинный путь по пищеводу и желудку. Здесь они оказываются в среде кислого сока, от которого, например, пенициллин и инсулин разрушаются. И поскольку это нежелательно, такие вещества вводят путем инъекций.

Особенно сложные изменения, помогающие всасыванию лекарств и их действию на организм, происходят в кишечнике.

Почти все вещества нерастворимые в воде и содержащем желудка, расщепляются соками поджелудочной железы, кишечника и желчью. После этого они всасываются в тонком кишечнике. Так циркулируют по организму расщепленные на составные части алкалоиды, гликозиды, соли органических и неорганических кислот, витамины, гормоны. В кишечнике же благодаря щелочной среде труднорастворимые сульфаниламидные препараты переходят в легко растворимые соли, убивающие бактерии. Всасывание этих солей значительно облегчается, если одновременно с сульфаниламидами принимают щелочные растворы (например, сода, боржом).

Пища изменяет среду в желудке, что в свою очередь влияет на лекарственные вещества. Если, например, у че-

ловека повышена кислотность желудочного сока, и оп к тому же ест кислые продукты, это способствует превращению каломеля (однохлористой ртути), принятого как слабительное, в сулему (двуххлористую ртуть), вызывающую отравление. Похожие явления наступали и после применявшегося ранее прогнвоглистного лекарства санкофена, содержащего каломель.

Дубильные вещества, например, очень крепкий чай, препятствуют всасыванию алкалоидов, образуя труднорастворимые соединения, которые уже не оказывают лечебного действия. Это случается, если после приема бензойнокислого кофеина выпить крепкого чая.

Следует отметить, что таблетки пенициллина, метилтестостерона, валидола, эконовоциллина, прегнина хорошо всасываются слизистой оболочкой и поступают в кровь, если их некоторое время подержать под языком. Это надо учитывать, когда принимают препараты, которые нежелательно подвергать воздействию желудочного, кишечного и других соков. Человек, проглотивший таблетку валидола, которую надо было рассосать под языком, не получит желаемого действия препарата, не ощутит облегчения. Диуретик, принятый не до, а после еды, разлагается соляной кислотой и утрачивает свои лечебные качества.

Назначая прием лекарства через рот, врачи стремятся как можно меньше нарушать процесс пищеварения и не повреждать слизистую оболочку желудка. Как правило, катощак назначают большинство противоглистных средств, растворы слабительных солей и минеральные воды. Тогда они быстрее всасываются и оказывают свое действие.

Перед едой принимают вещества, непосредственно действующие на слизистую оболочку желудка и кишечника, — обволакивающие и вяжущие, регулирующие выделение желудочного и кишечного соков, усиливающие или ослабляющие деятельность желудка. Речь идет о препаратах белладонны, горечях, желчегонных, желудочном соке, щелочах.

Во время еды и непосредственно после нее целесообразно принимать назначенные врачом пепсин, соляную кислоту, способствующие перевариванию принятой пищи, а также вещества, которые раздражают слизистую оболочку желудка: ПАСК, хинин, препараты железа и мышьяка, уротропин, камфару, метилтиоурацил, йод, дифенин, теофиллин, ятроп.

В промежутках между едой назначают препараты, по раздражающие желудок и кишечник, — сульфамиламы, пенициллины, антибиотиклы: в это время они быстрее расщепляются и всасываются.

Опыты лабораторли И. П. Павлова подтверждают, как важно принимать лекарства в определенное время. Щелочи, принятые за 40—60 мин. до еды, уменьшают выделение желудочного сока, а непосредственно перед едой увеличивают выделение сока. Это зависит от сложных взаимодействий между первыми слизистой оболочки желудка и центральной нервной системой, возникающих в ответ на введение в желудок щелочей.

Лекарства поступают в общий ток крови в разные промежутки времени: одни через 10—20 мин., другие через 2—3 часа, а иногда и позже. Это зависит от химических и физических свойств лекарств, места и интенсивности всасывания, превращений, которые они перетерпевают в желудке, кишечнике и печени. Если функция желудка и кишечника нарушена, действие лекарственных веществ может ослабляться или усиливаться. Так, при застойных явлениях в печени или кишечнике влияние наперстянки, горьцвета и других сердечных препаратов, содержащих гликозиды, ослабевает, поскольку замедляется процесс их всасывания, разложения, а сами гликозиды задерживаются в печени.

Таковы общие черты «переваривания» лекарств. А теперь перейдем к химическим превращениям в тех клетках нашего тела, которые находятся «по ту сторону» границы — внутренней поверхности пищеварительного канала.

Химия клетки

Пищеварение и всасывание продуктов переваривания — первые два этапа обмена веществ в организме. Эти этапы можно, пожалуй, назвать вспомогательными или предварительными. Они и осуществляются не всеми клетками нашего тела, а лишь клетками определенных органов. Недаром также говорят: «пищеварение начинается с кухни». Пока это делается частично — кулинарной обработкой пищевых продуктов. Но что мешает вывести пищеварение целиком за пределы нашего тела? Теоретически, ничто: современная наука может предложить также искусственно приготовленные смеси продуктов расщепления белков, жи-

ров и углеводов, которые можно было бы «непосредственно» предложить ворсинкам слизистой оболочки кишечника для всасывания или даже непосредственно вводить в кровь, которая доставляет их клеткам.

Но ворсинки как аппарат всасывания и частично печень, осуществляют только второй подготовительный этап обмена веществ. Ведь их воздействие заключается в такой обработке, которая делает продукты переваривания доступными для использования на третьем, самом основном этапе — внутриклеточном обмене. Этот этап называют также промежуточным, или межклеточным. За ним следует четвертый и последний этап — выведение продуктов обмена из организма, что осуществляется в основном почками, а также кишечником, легкими и в небольшой степени кожей.

Остановимся на внутриклеточном обмене, так как здесь создается большая химия нашего тела. В самом деле, организм человека (да и любой другой живой организм) представляет сложное сообщество клеток, где благополучие целого зависит от жизни каждой клетки, и каждая клетка подчинена этому целому. Маленькое хозяйство клетки — удивительное по сложности устройство¹, совокупность совершенно необычных, еще не поддающихся полностью воспроизводству рукой человека интереснейших химических превращений, с которыми постараемся ознакомиться в общих чертах.

Что представляет собой клетка (а их сотни триллионов в нашем теле)? Это не простой микроскопический пузырек, в котором перемешаны в растворе органические и неорганические вещества, а сложное «архитектурное» сооружение, окруженное «китайской» стеной — оболочкой, состоящей из липопротеидов (сложных соединений липидов с белками). Оболочка — строгий контролер всех входов и выходов клетки, придирчиво пропускающий или выпускающий только избранных. Ее содержимое тоже представляет собой смесь множества различных телец — органелл, защищенных белковыми или липопротеиновыми мембранами (рис. 15).

¹ В простой бактериальной клетке можно обнаружить 2000 различных белков и 200 молекул ДНК. А каждая клетка нашего тела содержит их в 100 раз больше.

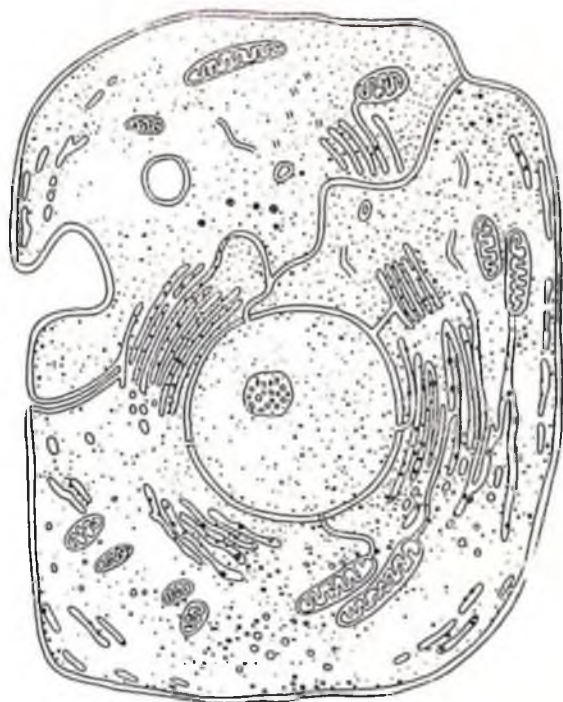


Рис. 15. Схема строения клетки

Так представляется строение клетки на основе данных электронной микроскопии: внутри клетки видны сложные пластинчатые организации внутри протоплазмы, структура митохондрий, двойные оболочки клетки и ядра

Мембраны наделены ферментативной активностью и препятствуют свободному проникновению растворенных веществ. Более того, они могут переносить «по своему выбору» те или иные вещества внутрь органеллы. А в органеллах содержится большая часть многочисленных ферментов клетки. Поэтому все химические превращения протекают в клетке не хаотически, а в строго определенных местах. Так, например, митохондрии — органеллы, которые служат как бы силовыми станциями внутри клетки, содержат в себе ферменты и вырабатывают энергию для нужд клетки (рис. 16)¹. Более мелкие тельца — рибосомы — это органеллы, поставляющие белки и содержащие все ферменты, необходимые для синтеза этих важнейших веществ.

Заметим тут же, что строительным материалом для клеточных «сооружений» служат белки. Именно они обес-

¹ По новейшим данным митохондрии содержат ДНК (в меньшем количестве, чем ядра клеток) и могут самостоятельно синтезировать некоторые белки. Роль митохондрий в жизни клетки настолько велика, что уже родилась новая область науки «митохондриология».

печивают структуру клетки, а следовательно, и всего нашего тела. Глиоплазма, окружающая органеллы клетки, тоже представляет вещество, в котором ведущая роль принадлежит белкам (часто соединенным с другими веществами), в том числе белкам-ферментам. А нуклеиновые кислоты осуществляют в клетке кибернетические функции. Ведь клетчатка содержит все необходимое для самовоспроизводства. В ДНК ядра половой клетки содержатся сведения не только о строении и обмене веществ подобной клетки, но и о всем будущем развитии нашего тела. Ведь эта нуклеиновая кислота — материальный носитель наследственности. Ее важнейшее свойство — способность к самоповторению (редупликация). А молекулы РНК — это разного типа орудия, участвующие в синтезе белка в клетке.

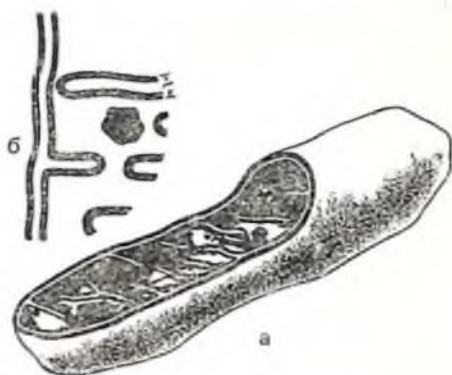
Нужен был гений Ломоносова и Лавуазье, напряженный труд многих поколений исследователей, установивших, что в нашем теле (да и в любом живом организме) происходит окисление органических веществ, в результате которого освобождается энергия. В наше время это знает каждый школьник. Что бы мы ни делали — движемся, читаем, спим и т. д., — все это требует энергетических затрат.

Разве могли бы без энергии сокращаться мышцы, работать пищеварительные железы, совершаться первые процессы? Без энергетических затрат невозможна жизнь организма. Пища доставляет нам энергию солнечного света, которая превратилась в хлоропластах клеток растений в химическое горючее. Клетки нашего тела окисляют это горючее, и освобождающаяся при этом энергия используется для приведения в действие различных клеточных механизмов. Энергия тратится не сразу. В каждой клетке нашего тела идет и накопление энергии и ее трата. Клетка использует энергию химических связей. В энергетическом хозяйстве клетки особое значение приобретают реакции окисления (и восстановления).

Каждый из нас знает, что среди конечных продуктов распада, выделяемых нашим телом, первое по количеству место занимают углекислый газ (который мы выдыхаем) и вода (выделяющаяся с мочой, калом, в виде пота и с выдыхаемым воздухом). Это конечные продукты процессов окисления.

Такие процессы осуществляются в клетке, как правило, в виде целых цепей последовательных реакций, в основном сводятся к отщеплению водорода (дегидрированию, отсю-

Рис. 16. Строение митохондрии печени (а) и внутренние тяжи, просвет которых составляет 60—80 микрон (б)



да название соответствующих ферментов: дегидразы или дегидрогеназы) и его переносу на другое вещество, которое при этом восстанавливается. Вещество, отдающее свой водород, называют донатором («дона» по-латински подарок), а принимающее его — акцептором («акцепто» по-латински принимаю).

Итак, окисление одного вещества всегда сопровождается восстановлением другого. Такие сопряженные реакции называют окислительно-восстановительными.

Много ферментов клетки трудится над осуществлением окислительно-восстановительных процессов. Один из них действует на окисляющееся вещество, захватывает водород, а второй отнимает у него водород, чтобы затем передать третьему и т. д. Как известно, водород состоит из одного протона и одного электрона. Энергию протона клетка использовать не может. Ферменты уносят электрон с атома водорода и передают друг другу «с руки на руки». Когда электрон перескакивает с фермента на фермент, излучается энергия. Приняв два электрона, кислород заряжается отрицательно. Потом он присоединяет два протона, оставшихся от водорода и свободно плавающих в клетке, и образует воду. И в этом случае вода и углекислый газ — два конечных продукта клеточного дыхания.

Да, клетки и ткани нашего тела способны дышать и причем дышат с разной интенсивностью, которую ученые сумели измерить. Оказалось, например, что клетки почек потребляют в 20 раз, а сетчатки глаза даже в 30 раз больше кислорода, чем клетки кожи.

Окисление органических веществ в клетке обычно начинается с действия анаэробных дегидрогеназ, т. е. ферментов, переносящих водород к различным его «приемщикам» — акцепторам, но не к кислороду. Так, например, глюкозодегидрогеназа отщепляет водород от гексозофосфорной кислоты и передает его одному из флавиновых («флавус» по-латыни желтый) ферментов. Другие ферменты — цитохромы и цитохромоксидаза (или дыхательный фермент Варбурга) — переводят водород и кислород в активное (ионизированное) состояние путем переноса электрона от водорода к кислороду. В небелковой части этих ферментов содержится железо. В окисленных цитохромах оно трехвалентно, в восстановленных цитохромах — двухвалентно. Присоединяя электрон, трехвалентное железо переходит в двухвалентное и наоборот. Таким образом, цитохромы являются переносчиками электронов.

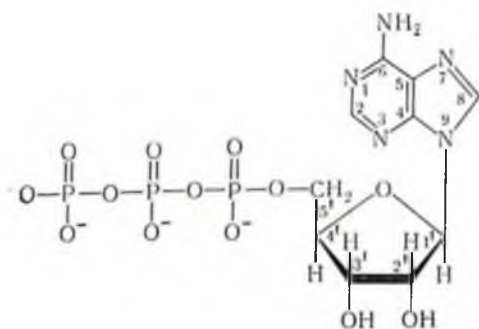
А цитохромоксидаза занимается окислением цитохромов (причем одновременно восстанавливается небелковая часть этого фермента), в результате чего активированный водород соединяется кислородом с активированной цитохромоксидазой. Под конец восстановленная небелковая часть (кофермент) цитохромоксидазы окисляется кислородом с образованием воды. Таким образом, после долгих странствований водород окисляемого в клетке вещества попадает к главному акцептору — кислороду.

Роль переносчика водорода могут играть многие другие вещества, среди которых в первую очередь можно назвать аскорбиновую кислоту (витамин С) и глутатион (трипептид, содержащий серу), который входит в состав многих белков.

Но вернемся к энергии, которая постоянно нужна клетке для разных химических реакций, для механической или электрической работы (первичные импульсы). Такую энергию можно постоянно иметь «под рукой», только если имеются ее запасы. Клетка делает такие запасы. Энергия, которая выделяется при странствованиях электрона водорода, не пропадает даром. Клетка тотчас запасает ее в сложных фосфорных соединениях — молекулах аденозинтрифосфорной кислоты — сокращенно АТФ. Синтез АТФ (его называют окислительным фосфорилированием) связан с процессами окисления, рождающими энергию. Его можно сравнить с механизмом «зарядки аккумуляторов». Выработывают энергию, как уже говорилось выше, и запасают ее

митохондрии, крохотные зерна и нити, скопления которых давно уже открыты в протоплазме клетки («митос» — латински нить, «хондрос» — зернышко). В них всегда присутствует предшественница АТФ так называемая АДФ — аденозиндифосфорная кислота.

В АДФ всего две молекулы фосфорной кислоты, по как только в митохондриях выделится энергия, АДФ использует еще одну молекулу фосфорной кислоты. На присоединение третьей молекулы к АДФ и, следовательно, образование АТФ клетка затрачивает «уйму» времени — около минуты. Но оно не теряется: за это время энергия аккумулируется в химической связи между третьей молекулой фосфорной кислоты и АДФ. Такая связь носит название «макроэргической», что означает богатая энергией. Недаром более половины калорий, освобождающихся, например, при окислении глюкозы (глюкоза — основное топливо в клеточной кочегарке), запасается в макроэргической фосфорной связи АТФ, но только на время. АТФ — средство скорой помощи. Ферменты доставляют молекулы АТФ всюду, где необходима энергия. АТФ с готовностью разрывает связь с одним остатком фосфорной кислоты, освобождая запасенную энергию. А количество этой энергии очень велико: отщепление остатка фосфорной кислоты происходит с выделением 12 000 кал на грамм-молекулу освобожденного фосфора. Ниже представлена формула АТФ:



Клетка чутко реагирует на расход энергии. Как только образуются продукты распада АТФ, т. е. молекулы АДФ

п фосфорной кислоты, в митохондриях автоматически падает синтез АТФ. Следовательно, потребность клетки в энергии и распад АТФ, отдающей накопленную в ней энергию, служат сигналом о необходимости «производства» энергии и, следовательно, окисления органических питательных веществ в митохондриях¹. Эти вещества — глюкоза, глицерин и жирные кислоты, аминокислоты — кровь и лимфа разносят от кишечника к клеткам. Здесь они легко превращаются в излюбленный клеткой вид топлива — карбоновые кислоты, которые состоят из атомов углерода, кислорода и водорода. За странствованием водорода в митохондриях мы уже проследили. Обратим внимание на углерод, который проходит свой особый путь, кончающийся образованием конечного продукта — углекислого газа.

Большую роль в распаде (или синтезе) в клетках играют циклы химических превращений. Особенно важен цикл трикарбоновых (содержащих три углерода) кислот, названный также циклом Кребса по имени открывшего его ученого. Ключевую роль в этом цикле играет одна из трикарбоновых кислот — пировиноградная кислота, в которую могут превращаться и углеводы и некоторые аминокислоты. Но еще большую роль играет в этом цикле неустойчивый путешественник — активная уксусная кислота (ацетил-кофермент А). Она может возникать и из пировиноградной, и из жирных кислот и даже из определенных аминокислот. Но главное в том, что эта активная кислота — ключевое вещество при распаде углеродного скелета различных органических веществ (а также строительная единица для их синтеза). Именно она завершает странствования углерода, превращаясь по ходу реакций цикла в две молекулы углекислого газа и две молекулы воды. Ниже мы еще вернемся к циклу Кребса, иллюстрируя его более конкретное «применение» в тканях нашего тела. И не будет большой ошибки, если мы будем называть его «дыхательным» циклом.

В химическом хозяйстве клетки большую роль играют не только реакции окисления. Отмечен особый тип реак-

¹ Молекулы ферментов, расположенных в мембранах митохондрий, выполняют не только химическую, но и механическую работу. Митохондрии «дышат» под действием АТФ, они сокращаются и набухают, обеспечивая подачу воды и минеральных веществ.

ций, заключающихся в переносе атомов или их группировок от одного соединения к другому. Это реакции переноса. Такова реакция переноса остатка фосфорной кислоты (в которой важнейшую роль играет АТФ), осуществляемая специальными ферментами — фосфоферазами. Таким же образом происходит и перенос остатка фосфорной кислоты при расщеплении и обратном синтезе (ресинтезе) креатинфосфата, т. е. креатинфосфорной кислоты, химическая связь которой также играет роль аккумуляторов энергии в мышечной ткани. Но энергию этой связи мышечные клетки без помощи АТФ использовать не могут.

Интересна другая реакция, при которой фосфор переносится в мышечной ткани непосредственно с одного вещества на другое, минуя стадию образования фосфорной кислоты. В этой реакции переноса фосфора не наблюдается выделения или поглощения энергии потому, что связи различных остатков в молекуле АТФ (а их три) по запасу энергии неодинаковы. Много энергии высвобождается только при разрыве богатых ею первых двух связей.

Большое значение в химических превращениях внутри клетки имеют и другие реакции переноса. Фактически клетка ведет свое химическое строительство так, как строит теперь дома, используя не отдельные кирпичи, а своеобразные блоки атомов. Этим очень упрощается строительство — биосинтез. Переносимые группы атомов, хотя и разнообразны (здесь активный метил, активный сульфат, содержащий серу, аминогруппы, включающие азот и остатки кислот и другие соединения), но клетка легко разбирается в них. Реакции переноса метила называют трансметилированием, а реакции, в которых переносится аминогруппы, — переаминированием (перенос аминогруппы).

Что же происходит в межклеточном обмене внутри клеток с теми продуктами распада белков (аминокислоты), углеводов (глюкоза), жиров (глицерин и жирные кислоты), которые кровь доставляет к клеткам.

Ежесуточно в нашем теле кровь забирает из кишечника 100 г и более различных аминокислот, образующихся при переваривании белков пищи. Сюда надо прибавить еще 20 г аминокислот, которые образуются «внутри» организма при распаде собственных белков в клетках. Какова же судьба аминокислот в организме?

Мы неоднократно называли аминокислоты химическими кирпичиками, из которых состоит молекула белков. Вот для этой главной цели — построения необходимых ей белков — и использует клетка аминокислоты. Но аминокислоты используются не только для построения белков. Клетки сооружают из них многие другие азотистые небелковые вещества, иногда исключительно важные (некоторые гормоны). Наконец, клетки превращают аминокислоты в конечные азотистые продукты обмена веществ, вроде мочевины, которые выбрасываются из организма. Интересно, что концентрация аминокислот в клетке обычно выше, чем в наружной среде, откуда она их забирает.

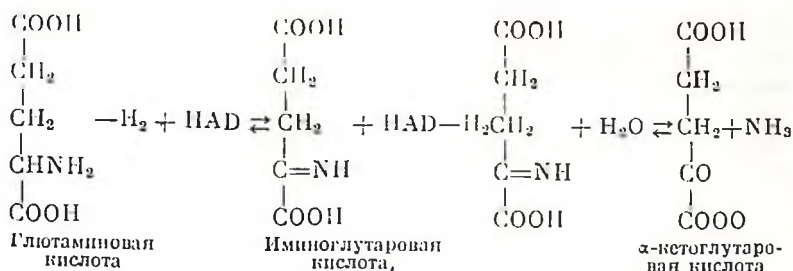
Но если клетка — фабрика белков, не существуют ли в ней и заводы, готовящие их составные части — аминокислоты. Существуют, но с оговоренной номенклатурой продукции. Клетки могут строить и аминокислоты, но не все. Те аминокислоты, которые клетка не создает (во взрослом организме их восемь), мы считаем незаменимыми, так как вынуждены вносить их извне с пищей.

Итак, клетки восстанавливают белки, распавшиеся в процессе жизнедеятельности, за счет аминокислот. Но для молодого растущего организма этого недостаточно. Здесь аминокислоты идут на увеличение массы белков органов в связи с их ростом. Но для построения молекулы белка необходима энергия. Ее и поставляет вездесущий переносчик энергии — АТФ. Эта кислота соединяется с аминокислотой, чтобы передать ей свой запас энергии, т. е. активировать ее. После активирования аминокислоты поступают в распоряжение нуклеиновой кислоты — главного работника строительства белков.

Конечно, не все аминокислоты используются для синтеза белков. Немалая их часть претерпевает самые разнообразные превращения, чаще всего с образованием еще более простых веществ. В конце концов из них образуются аммиак, углекислый газ, вода и освобождается скрытая в их молекулах энергия.

Пути распада различных аминокислот неодинаковы. Но есть превращения, общие для многих аминокислот. Сюда относятся реакции дезаминирования, переаминирования и декарбоксилирования.

При дезаминировании, а этот путь «выбирает» большая часть аминокислот, каждая молекула аминокислоты окисляется, превращаясь в кетокислоту и аммиак:



При переаминировании общее количество аминокислот, вступивших в реакцию, не изменяется. Остатки аммиака, или аминогруппы, переносятся от аминокислот на кетокислоты. В результате возникают новые молекулы аминокислот, которые в свою очередь могут отдавать свои аминогруппы кетокислотам. Все происходит с участием особых ферментов. Получается своеобразная карусель, и на первый взгляд непонятно, для чего организму замкнутый круг химических превращений? На самом деле это не так. Клетки нашего тела используют сложную систему хотя бы для того, чтобы вовлечь аммиак в процессы обмена веществ, устранить образующийся при дезаминировании аммиак путем связывания его кетокислотой (в первую очередь кетоглутаровой). От образующейся при этом глютаминовой кислоты специальные ферменты — трансминазы переносят аминогруппы на другие кетокислоты с образованием соответствующих аминокислот.

Наконец, реакции переаминирования поставляют почти половину аминогрупп, необходимых для синтеза мочевины — конечного продукта обмена белков в нашем теле.

Что касается декарбоксилирования, то оно заключается в отщеплении карбоксильной группы в молекуле органической кислоты под действием ферментов — декарбоксилаз. Этот путь превращения аминокислот в известной степени второстепенен. Но многие из образующихся при этом протеиногенных аминов отличаются чрезвычайной физиологической активностью. Ничтожные количества этих веществ могут влиять на работу различных органов. Среди таких соединений особенно важен гистамин. Его даже называют местным гормоном. Гистамин вызывает расширение мелких кровеносных сосудов (и сужение более круп-

ных), сокращение гладкой мускулатуры, повышает выделение соляной кислоты в желудке. Окситриптамин (из аминокислоты триптофана), который называют также серотонином, не только повышает кровяное давление, но способен оказывать противоречивое действие на центральную нервную систему, деятельность которой малые количества серотанина подавляют, а большие, наоборот, возбуждают.

Естественно, что и нуклеиновые кислоты подвергаются синтезу или распаду в клетках. Вспомним, что само название: — нуклеиновые (латинское «нуклеус» — ядро) — указывает, что эти кислоты впервые были найдены в ядре клетки. Действительно, ядро содержит в основном ДНК, а также РНК, тогда как в цитоплазме клетки содержится только РНК. Вернее говорить не об одной РНК, а о многих, так как известно несколько типов РНК, о чем мы уже упоминали. Вспомним, из каких же химических кирпичиков построены нуклеиновые кислоты.

Цепь нуклеиновой кислоты состоит из связанных попеременно между собой молекул сахара и фосфорной кислоты. При этом у каждой молекулы сахара как бы подвешено одно пуриновое (аденин и гуанин) или пиримидиновое (цитозин и тимин) основание. Главное различие между ДНК и РНК в том, что сахар ДНК — это дезоксирибоза, а сахар РНК — рибоза, которая химически более уязвима, чем дезоксирибоза. Есть различия и в пиримидинах: у ДНК вместо тимина урацил.

Итак, сахар — фосфорная кислота — пурины или пиримидины — это основное звено цепи нуклеиновой кислоты; его называют нуклеотидом. Если от нуклеотида отнять фосфорную кислоту, то он превращается в нуклеозид.

Клетка сначала заготавливает первичные кирпичики: пурины из осколков аминокислот, пиримидины из углекислого газа, аммиак из аспарагиновой аминокислоты, сахар рибозу из продуктов углеводного обмена, а дезоксирибозу из рибозы. Затем идет фабрикация крупных блоков — нуклеозидов и нуклеотидов, которые и в свободном виде играют важную роль в клетке как поставщики энергии. И, наконец, клетка переходит к крупноблочному строительству «высотных» зданий — гигантских молекул нуклеиновых кислот (впрочем, молекулы РНК могут быть довольно небольших размеров). Строительство идет многообразными путями с вовлечением в работу множества ферментов.

Как строительство, так и распад нуклеиновых кислот в клетке связан с синтезом и распадом белков.

Говоря о химическом хозяйстве клетки, мы стремимся подчеркнуть ключевую роль нуклеиновых кислот. Ведь план строения, передающийся по наследству, заключен в молекулах ДНК, которые управляют синтезом белков-ферментов, а они в свою очередь управляют всеми химическими реакциями. Так клетки создают молекулы.

Кроме нуклеиновых кислот и белков клетка содержит липиды, углеводы, множество различных органических соединений и минеральные вещества. Все они так или иначе связаны друг с другом и часто образуют сложные соединения, расположенные на внутриклеточных «сооружениях».

Все сказанное относится к клетке «вообще». Но таких клеток в нашем теле не существует. Между ними имеются различия в химическом составе, иногда очень существенные. Достаточно упомянуть о клетках щитовидной железы, которые обладают способностью захватывать и концентрировать йод. Менее выражены различия между клеточными ядрами, наиболее характерной составной частью которых является ДНК. Между ядром и остальной частью клетки происходит постоянный обмен веществ, как между клеткой и окружающей ее средой. В нашем теле все клетки настолько связаны друг с другом и зависят от «верховных» регуляторов — мозга и гормонов, что их надо рассматривать только в полном единстве со всем организмом и средой.

Остановимся на судьбе липидов в межклеточном обмене. Она несколько отличается от превращений белков и углеводов, которые кишечные ферменты дробят на мелкие осколки, переходящие в кровь. Во-первых, жиры перевариваются не полностью и часть их в виде очень мелких капелек непосредственно всасывается стенкой кишок. Во-вторых, большая часть жиров разлагается кишечными ферментами на глицерин и жирные кислоты, но уже в клетках-кишечного эпителия из них снова синтезируются жиры. В-третьих, те и другие жиры переходят через кишечную стенку (здесь их настигает вездесущая фосфорная кислота и частично превращает в фосфолипиды) сначала в лимфатические сосуды, и только потом через грудной лимфатический поток они поступают в кровяной ток.

Кровь сначала доставляет жиры в подкожную жировую клетчатку и салники и откладывает их здесь про запас.

В эти склады поступают и те жиры, которые клетки организма синтезируют из продуктов распада углеводов и некоторых аминокислот. Уже отсюда кровь доставляет жиры к местам их использования, главным образом в клетки печени.

Специальные ферменты клетки (липазы) разлагают жиры на глицерин и жирные кислоты. Дальнейшая судьба глицерина похожа на судьбу глюкозы. Его превращения начинаются со вмешательства всемогущей АТФ, а кончатся распадом до молочной кислоты с последующим окислением до углекислого газа и воды или же, что происходит реже, синтезом из него гликогена — главного представителя углеводов в нашем теле. Здесь мы видим еще одну связь между обменом жиров и углеводов (рис. 17).

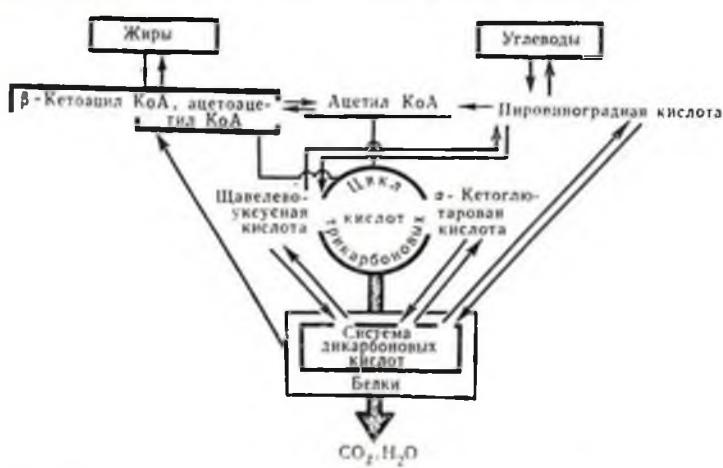


Рис. 17. Взаимосвязь между превращениями жиров, белков и углеводов

А вот жирные кислоты клетка ведет по совершенно другому пути. Под действием множества ферментов и, конечно, опять-таки при вмешательстве АТФ она «отщипывает» от жирных кислот по два атома углерода в виде уже знакомой нам активной уксусной кислоты (ацетил кофермента А), которую затем превращает в ацетоуксусную кислоту (как бы удвоенную молекулу уксусной кислоты). Это происходит главным образом в клетках печени.

Ацетоуксусную кислоту захватывает затем кровь и доставляет к клеткам различных тканей и органов, которые

и разлагают ее на конечные продукты — углекислый газ и воду. Такова судьба насыщенных жирных кислот. Что касается ненасыщенных (которыми богаты растительные жиры), то их превращения в клетках организма пока еще изучены недостаточно. Мы знаем все же, что некоторые из них (линолевою, линоленовую и арахидоновую) клетки нашего тела синтезировать не могут. А они очень нужны для нормального обмена жиров.

Обмен фосфатидов в нашем теле тесно связан с обменом жиров. Фосфатиды (лецитин и др.) помогают всасыванию жиров, участвуют в их переносе кровью и предотвращают ожирение печени. Они играют важную роль в органах размножения и при развитии зародыша. Клетки нашего тела (особенно печени) постоянно обновляют состав фосфатидов, меняя входящие в их состав жирные кислоты. Клетки располагают целой армией специальных ферментов, разлагающих фосфатиды, конечно, с участием опять-таки АТФ. Судьба отцепляющихся при этом глицерина и жирных кислот нам уже известна. А вот главная азотистая составная часть фосфатидов — холин, настолько необходим клеткам, что многие ученые считают его витамином. Достаточно сказать, что часть холина идет на образование ацетилхолина — вещества, необходимого для передачи нервных импульсов.

Что касается обмена углеводов в клетке, главную роль в котором играет виноградный сахар — глюкоза, то мы уже несколько раз касались различных его сторон.

Несколько слов о красящих веществах — пигментах, играющих важную роль в нашем теле. Важнейшие из них гемоглобин и миоглобин. Эти химические вещества — очень близкие родственники: гемоглобин — красящее вещество крови, миоглобин — мышц. Белковая часть гемоглобина носит название глобина, а красящая часть — гема. Гем представляет собой органическое вещество протопорфирина, содержащий один атом железа. Именно гем обладает способностью связывать кислород и легко отдавать его. Благодаря этому гемоглобин выполняет свою основную работу — доставку кислорода от легких к тканям. Гем содержится также в цитохромах и, следовательно, помогает клеткам использовать кислород. Он входит в состав фермента — каталазы, участвующей в процессах окисления. Миоглобин, содержащий гем, — тоже дыхательный пигмент, обеспечивающий в мышцах кратковременный запас кислорода.

Распад гемоглобина может происходить в нашем теле всюду, даже если он выходит за пределы кровеносной системы. (Вспомните о спинках, которые иногда возникают при ушибах.) Но главную работу по разложению гемоглобина ведут клетки печени: они превращают гемоглобин в желчные пигменты, главным образом билирубин.

Приведенные краткие сведения дают только «бледное» представление об исключительной сложности химических превращений в клетке. С точки зрения химика каждая клетка нашего тела — это высоко организованная фабрика молекул, обладающая завидной способностью моментально перестраиваться на необходимый режим работы. И все же клетку, взятую отдельно, нельзя назвать живой. Она становится живой, только «сотрудничая» в нашем теле с бесчисленной армией других клеток, в тесном взаимодействии с которыми обеспечивает жизнь всего организма в целом.

Печень.

Печень напоминает огромную центральную лабораторию, в различных уголках которой напряженно трудится целый коллектив химиков, выполняющих самую разнообразную работу. Она активно вмешивается в самые интимные стороны химических превращений обмена веществ в нашем теле и зорко стоит на страже его безопасности. Как же это происходит? Печень, расположенная на пути тока крови от ворсинок кишечника ко всем органам и тканям, в значительной мере перераспределяет содержание в организме углеводов, жиров и белков и их использование.

Начнем с углеводов. Печень чутко реагирует на запросы органов и тканей: при недостатке углеводов она использует свой запас гликогена, превращая его в глюкозу. Справиться с огромной разветвленной молекулой этого полисахарида — дело нелегкое, и печень осуществляет это двумя путями. Основной путь — фосфоролит (от «лизис» — расщепление; другими словами, расщепление при помощи фосфора). Ведает этим путем фосфорилаза — фермент, содержащийся в печени в двух формах — активной и пассивной. Действие активной фосфорилазы заключается в разрушении молекулы гликогена и превращении его в глюкозу, соединенную с фосфорной кислотой — глюкозо-6-фосфат. (Этот фермент работает в содружестве с другим ферментом, который как бы готовит рабочее место, очищая

путь для воздействия фосфоорилазы на гликоген.) Но чтобы поддержать уровень сахара в крови, необходима свободная глюкоза, которая и освобождается из глюкозо-6-фосфата под действием специального фермента.

Печень может разрушать гликоген и другим путем — с помощью фермента амплазы, похожего на ту амплазу, которая в основном расщепляет полисахариды в процессе пищеварения (она выделяется со слюной и с соком поджелудочной железы). Но как мы уже упоминали, этот путь превращения гликогена в глюкозу не главный.

У печени есть и другие функции. Ведь в нашей пище имеются и такие вещества, которые содержат наряду с глюкозой и простые сахара — фруктозу (в обычном пищевом сахаре) и галактозу (в молочном сахаре). В случае необходимости печень задерживает эти моносахариды и превращает их с помощью специальных ферментов в глюкозу (хотя фруктоза, как и глюкоза, может непосредственно быть использована в обмене веществ). Само собой разумеется, для печени не составляет труда строить молекулу глюкозы и из таких веществ, которые легко образуются при распаде этого сахара (молочная кислота, глицерин и др.). Но печень не довольствуется таким построением глюкозы заново («глюконеогенезом»). Давно уже замечено, что большие сахарной болезнью могут выделять глюкозу и тогда, когда пища совершенно не содержит углеводов. Ученые сразу же заподозрили в этом печень. Так и оказалось. Печень может превращать в глюкозу самые разнообразные вещества и даже такие, которые содержат азот, в частности разные аминокислоты: глицерин, аланин, серин и др.

Казалось бы, одни углеводы дают достаточную работу печени. Но этот неутомимый орган трудится и над липидами. Именно печень синтезирует тот холестерин, о котором за последние годы так много пишут на страницах журналов и газет. Его называют то другим, то врагом нашего тела, а то и другим и врагом одновременно из-за того, что холестерин «повинен» в возникновении атеросклероза.

Мы уже упоминали о том, что холестерин — необходимая и очень важная составная часть клеток тела человека, особенно мембран (оболочек). Кроме того, холестерин занимает важное положение в качестве исходного строительного материала для синтеза других стероидов. Именно в печени, не довольствуясь холестерином пищи, наш организм строит свой собственный холестерин, во всяком слу-

чае большую его часть, которая путешествует с плазмой крови и может откладываться в стенках артерий. Печень же связывает холестерин с жирными кислотами, в результате чего образуются эфиры холестерина. Печень строит и своеобразные транспортные средства — фосфатиды (главным образом лецитин), с помощью которых холестерин путешествует в плазме крови. (Фосфатиды — жироподобные вещества — липоиды, содержащие фосфорную кислоту вместе с особыми белками, способствуют переносу жиров в крови.)

В печени происходит окисление холестерина и превращение его в желчные кислоты, часть которых связывается аминокислотой — глицином и таурином. Печень выделяет желчные кислоты с желчью (после чего большая часть их всасывается обратно). В обмене липидов печень играет главную роль. В отношении простых липидов — жиров, у нее имеется соперник — жировая ткань. Но это друзья — соперники: между ними происходит активный обмен липидов. Жировая ткань, как и печень, способна синтезировать жирные кислоты, а так как жировой тканью наше тело богато (в ней в пять раз больше жира, чем во всей остальной массе тела), то естественно с ее ролью в обмене липидов нельзя не считаться. Печень, синтезируя свои липиды, при нормальных условиях откладывает часть их в жировой ткани. А в результате голодания при появлении ацетоновых тел (последствие обеднения печени гликогеном и сахарного диабета) и различных повреждений печени преобладает обратный процесс, ведущий к ожирению печени¹. Это заболевание печени заслуживает внимания.

К ожирению печени предрасполагают (и даже вызывают его) множество факторов: некоторые гормоны (гормон роста), яды, инфекционные болезни, качество питания (недостаток ненасыщенных жирных кислот и веществ, богатых метильными группами — холина, метионина). Организм человека располагает малым количеством метильных групп и периодически остро нуждается в этих доставляемых пищей «частичных витаминах». Пища содержит иногда избыток таких веществ, которые могут отнимать дефицитные метильные группы, что опять-таки способствует ожирению

¹ Ученые предполагают, что поджелудочная железа вырабатывает особый гормон — липокаин (греческое «липос» — жир, «кайеш» — сжигает), предохраняющий печень от ожирения.

печени. Наконец, кислородное голодание тоже ведет к ожирению печени.

Поскольку обмен витамина А тесно связан с жирами, печень является главным складом, хранящим большой запас этого витамина и его провитамина — каротина.

Печень — главный распорядитель в белковом хозяйстве человеческого организма. Прежде всего только в печени образуется мочевины, а ведь это вещество — продукт, с которым выделяется белковый азот из нашего организма. Несмотря на малую величину молекулы мочевины, образование ее в нашем теле требует значительной затраты энергии, в чем, конечно, принимает участие вездесущая АТФ (рис. 18). Как и многие реакции в организме, процесс этот носит циклический характер. Начало свое мочевины берет от аминокислот, поскольку в ней содержатся два остатка аммиака (аминогруппы), поставщиками которых могут служить любые аминокислоты. Одна из них — глутаминовая кислота — берет на себя труд доставлять аминокислотную группу к специальной аминокислоте — цитруллину (цитруллин образуется с помощью АТФ из другой аминокислоты — орнитина). Так начинается цикл ферментативных превращений. Цитруллин образует при этом аминокислоту — аргинин, содержащую остаток мочевины. Фермент аргиназа высвобождает мочевины, причем снова образуется орнитин и продолжается цикл химических превращений, ведущих опять-таки к образованию мочевины, которая затем переносится кровью к почкам и выделяется с мочой.

Печень распоряжается судьбой многочисленных аминокислот — химических кирпичиков, из которых состоят белки. Такое разнообразие аминокислот не всегда соответствует потребностям организма, поэтому в нем выработалась способность переводить одну аминокислоту в другую. Это осуществляется путем переноса специфической для аминокислот аминокислотной группы (остатка аммиака) на какую-либо кислоту, в результате образуется определенная аминокислота.

Реакцию переноса аминокислотной группы называют трансаминированием (переаминированием), а катализирующие эту реакцию ферменты — трансаминидазами. Так, например, войдя в эту реакцию, глутаминовая аминокислота и пировиноградная кетокислота выходят из нее переделанными в аминокислоту аланин и кетоглутаровую кетокислоту.

Печень может переделывать аминокислоты и другим способом. Действуя специальным ферментом (главным об-

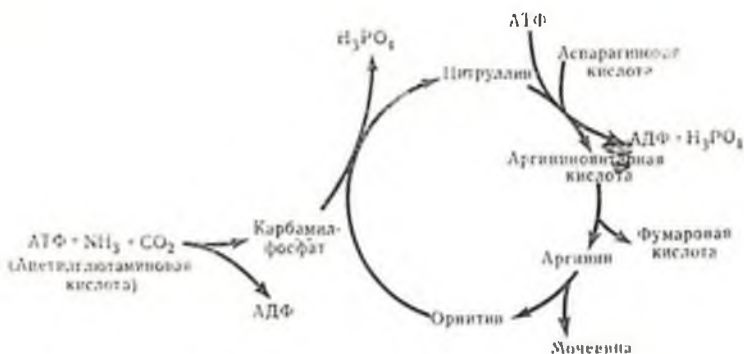


Рис. 18. Схема образования мочевины

разом глутаматдегидрогеназой), она превращает аминокислоты в кетокислоты, освобождая аминогруппу в виде аммиака, который тут же используется для синтеза мочевины. Да иначе и быть не может: аммиак — сильный враг тканей нашего тела, и его необходимо обезвреживать.

Печень влияет на метаморфоз других азотистых веществ — на синтез креатина и холина — соединений, играющих важную роль в обмене веществ. В печени, наконец, происходит синтез важнейших белков плазмы крови, в том числе и таких, которые участвуют в ее свертывании, — протромбина и фибриногена. В этом случае печень особенно уязвима и даже при незначительных воздействиях может делать ошибки.

В печени осуществляется и один из конечных этапов распада пукленновых кислот, ведущий к образованию мочевой кислоты, которая затем выделяется с мочой.

По «совместительству» печень занимается и такими жизненно важными для нашего тела пигментами, как гемоглобин: в ней в основном осуществляется его распад. Она постепенно расщепляет гемоглобин с помощью соответствующих ферментов и под конец отщепляет белок и железо, которое по-хозяйски накапливает в виде ферритина. Остается красящее вещество — билирубин, которое в печени соединяется главным образом с глюкуроновой кислотой; связанный (а частично и в свободном виде) билирубин выделяется с желчью в кишечник.

Образование желчи — очень важная функция печени. Ведь желчь не только помогает пищеварению и всасы-

вапию липидов, с ней выделяются конечные продукты обмена и выводятся чуждые организму вещества.

Печень играет важную роль, обезвреживая чужеродные вещества и соединения, свойственные нашему телу. Но, к сожалению, она может и ошибаться. Бывают случаи, когда безвредные сами по себе вещества, попадая в печень, становятся ядовитыми. Бывает и так, что печень «путает» и «набрасывается» на совершенно безвредные вещества, принимая их за яды. Но в общем печень направляет свои ферменты на защиту организма от вредных веществ. Она действует совместно с кишечником. Большая часть веществ, которые образуются в кишечнике под действием микробов, попадает в печень, а оттуда после обезвреживания снова выделяется в кишечник.

Нервная система

Процессы, протекающие в нервной системе и главным образом в головном мозгу, очень важны для организма и поэтому являются объектом пристального внимания биохимиков. Изучение их составляет одну из наиболее сложных проблем биохимии.

Попробуем разобраться, какие химические превращения происходят в самой нервной клетке, или нейроне. Прежде всего для того, чтобы клетка могла работать, чтобы в ней возникло возбуждение (а это ее основное назначение в организме), необходима энергия. Конечно, получая питательные вещества — углеводы, жиры и белки, которые, распадаясь, освобождают энергию, нервная клетка могла бы «не заботиться» об источниках энергии. Но характер деятельности нервной клетки таков, что она не может «доверяться» снабжению энергией пассивно. Ей необходимо создавать определенный запас энергии внутри и притом в такой форме, которую можно использовать в нужный момент на необходимом участке с максимальной быстротой. Тут на первый план выступает универсальное хорошо испытанное организмом энергетическое вещество — АТФ — испытанный снабженец, умеющий и запасать и распределять энергию. Но и этого нервной клетке мало, и она «включает в свой штат» еще одного снабженца — креатинфосфат, который выполняет ту же роль, что и АТФ, только в менее крупных масштабах.

Мы уж упоминали, что из всех питательных веществ первая клетка отдает предпочтение глюкозе, которая поступает в нее из крови. Чтобы извлечь необходимую энергию из глюкозы, первая клетка использует два пути: анаэробный — без доступа кислорода и аэробный — с доступом кислорода. Первый путь, биологически устаревший, менее выгодный, поэтому в основном первая клетка (и особенно клетки больших полушарий мозга) пользуется аэробным окислением глюкозы. Анаэробный путь — анаэробный гликолиз — заключается в расщеплении глюкозы на две молекулы молочной кислоты с освобождением энергии. Это очень сложная, многоступенчатая цепь реакций, в которой участвуют десятки ферментов. Здесь можно различить три основных этапа. На первом этапе глюкоза соединяется с фосфорной кислотой, перестраивается в родственный сахар — фруктозу — и подвергается дальнейшему распаду; все это называют фосфорилированием глюкозы.

Интересно, что на этапе фосфорилирования энергия не накапливается, а убывает, но глюкоза в результате активируется и как бы подготавливается к получению энергии в дальнейшем. На втором этапе — окислительно-восстановительном — образуется богатое энергией соединение: дифосфоглицерат. И, наконец, в результате третьего этапа образуется АТФ.

В чем же смысл анаэробного гликолиза? В том, что на первом этапе используются две молекулы АТФ, а в конце образуется четыре молекулы той же АТФ; чистый «доход» клетки — две молекулы АТФ. Но аэробное окисление глюкозы гораздо выгоднее. Здесь глюкоза окисляется до конечных продуктов дыхания: CO_2 и H_2O . Но если при гликолизе образуются две молекулы АТФ, то в результате дыхания возникает 38 молекул АТФ, т. е. в 20 раз больше! Не удивительно, что для первой клетки основной способ добывания энергии — аэробное окисление глюкозы. Кстати, оба способа — анаэробный и аэробный — идут совершенно одинаково до образования пировиноградной кислоты. Здесь пути расходятся — анаэробный ведет к тупику — образованию молочной кислоты; аэробный — к конечным продуктам дыхания: CO_2 и H_2O .

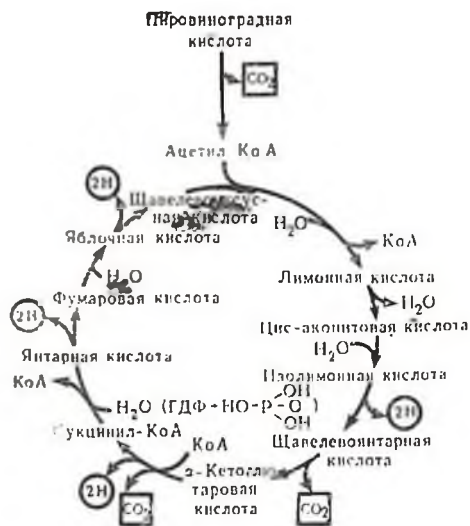
Преимущество аэробного пути заключается еще в его универсальности. Пожалуй, цепь химических превращений на этом пути намного сложнее, чем при анаэробном глико-

лизе. Но превращения таковы, что образующиеся промежуточные продукты — пировиноградная и уксусная кислоты — возникают не только при окислении углеводов, но и жиров и частично аминокислот (т. е. продуктов расщепления белков). Пользуясь этим испытанным, универсальным механизмом, который действует в нашем теле повсеместно, нервная клетка ведет свое химическое хозяйство. С его помощью клетка накапливает энергию, необходимую ей для того, чтобы отвечать на действие раздражителей, проводить нервные импульсы и передавать их на мышцы, железы или на другую нервную клетку. Этот механизм очень сложен, в центре его находится круг реакций — цикл Кребса (рис. 19), который можно себе представить как вращающееся «зубчатое» колесо, от которого поминутно отлетают (и снова восстанавливаются) химические кончики зубцов в виде молекул CO_2 . Ключевым веществом цикла Кребса является пировиноградная кислота, которая, окисляясь, теряет один углерод (в ней всего три углерода) и образует «активную уксусную кислоту», содержащую всего два атома углерода. Все главные пищевые вещества — углеводы, жиры и белки, — распадаясь, в конце концов образуют уксусную кислоту, и так как реакции ее образования обратимы, то возникает возможность перехода этих веществ друг в друга (например, углеводов в жиры, что очень важно для понимания причин ожирения).

Активная уксусная кислота, или ацетил-кофермент А, представляет соединение остатка уксусной кислоты (ацетила) с нуклеотидом (нуклеотиды — химические кирпичики, из которых строится молекула нуклеиновых кислот). Ацетил-кофермент А богат энергией. Он открывает цикл Кребса, отдавая свой ацетил с двумя углеродами на соединение с кислотой, содержащей четыре атома углерода. В результате образуется лимонная кислота — цитрат, содержащий шесть углеродов. Эта кислота отдает затем один углерод в виде CO_2 . Образующаяся кислота с пятью углеродами опять-таки выделяет CO_2 , в результате чего возникает кислота с четырьмя углеродами, которая после ряда превращений замыкает круг, соединяясь с ацетилом, и т. д.

Такова простейшая схема цикла Кребса, который в действительности представляет очень сложную цепь химических реакций с вовлечением «извне» различных соединений и участием многих ферментов. На одном из этапов этого цикла в «боковой» реакции образуется и вездесущая

Рис. 19. Цикл Кребса



АТФ. В результате энергетический «доход» одного цикла составляет 12 молекул АТФ.

Заметим, что ацетил-кофермент А полезен нервной клетке и в другом отношении. Это он, соединяясь частью своей молекулы с холином, образует тот ацетилхолин, который является основным химическим передатчиком (медиатором) первого возбуждения¹.

Первые исследования химического состава головного мозга проводились на мозге в целом. Они не привели к желаемым результатам: от внимания исследователей ускользали многие особенности его химического состава. Изучение же отдельных частей мозга показало, что участки головного мозга, выполняющие различные функции, отличаются не только своим химическим составом, но также характером и интенсивностью протекающих в них биохимических процессов.

Уже с давних времен анатомам и гистологам была выявлена сложная клеточная структура головного мозга. Было установлено, что в нервной ткани содержатся самые крупные клетки нашего тела — нейроны. Объем нейрона

¹ Процессы образования, освобождения и разрушения ацетилхолина в организме детально изучены американским биохимиком Д. Накмансоном.

может в 100 раз превышать объем красного кровяного шарика — эритроцита. Благодаря большому количеству отростков первые клетки обладают огромной поверхностью и, кроме того, тесно связаны с многими тысячами таких же клеток.

Физиологи постепенно выявили поразительное многообразие функций мозга. Изучение химического состава отдельных участков головного мозга позволило составить его своеобразную биохимическую топографию.

Ученые, изучавшие процессы обмена веществ в живом организме, мечтали о возможности пометить химическое вещество и, пользуясь «меткой», проследить его судьбу в живом организме, выяснить промежуточные звенья всех химических реакций. Благодаря открытию радиоактивных изотопов осуществлялась мечта ученых иметь в своем распоряжении «меченые» молекулы. Такие молекулы по своим химическим и физическим свойствам не отличаются от природных веществ, входящих в состав тканей, а их превращения в живом организме происходят теми же путями, что и у обычных немеченых частиц. Это замечательное открытие открывает совершенно новые перспективы для научных исследований в биохимии нервной системы.

В деятельности нервной системы, как и во всех без исключения функциях живого организма, решающая роль принадлежит белкам, которые обладают исключительной химической активностью. Чтобы проследить за превращением белковых веществ в нервной системе живого организма при различных ее состояниях, советские ученые использовали аминокислоты, из которых построены белки. Радиоактивная («меченая») аминокислота, введенная в тело животного, используется для образования белковых веществ, в частности белков головного мозга. После этого можно определить, как быстро включается «меченая» аминокислота в белки разных отделов мозга, т. е. получить представление о скорости обновления белков, их синтеза и распада.

Оказалось, что обмен белков протекает интенсивнее в тех отделах головного мозга, функции которых наиболее сложны, а именно в коре больших полушарий. Причем возбуждение центральной нервной системы влечет за собой ускорение химических превращений белков в головном мозгу. Наименее активно обмен белков идет в периферических нервах, которые выполняют роль проводников нервного возбуждения.

Рис. 19. Цикл Кребса



АТФ. В результате энергетический «доход» одного цикла составляет 12 молекул АТФ.

Заметим, что ацетил-кофермент А полезен первой клетке и в другом отношении. Это он, соединяясь частью своей молекулы с холином, образует тот ацетилхолин, который является основным химическим передатчиком (медиатором) первого возбуждения¹.

Первые исследования химического состава головного мозга проводились на мозге в целом. Они не привели к желаемым результатам: от внимания исследователей ускользали многие особенности его химического состава. Изучение же отдельных частей мозга показало, что участки головного мозга, выполняющие различные функции, отличаются не только своим химическим составом, но также характером и интенсивностью протекающих в них биохимических процессов.

Уже с давних времен анатомами и гистологами была выявлена сложная клеточная структура головного мозга. Было установлено, что в нервной ткани содержатся самые крупные клетки нашего тела — нейроны. Объем нейрона

¹ Процессы образования, освобождения и разрушения ацетилхолина в организме детально изучены американским биохимиком Д. Нахмансоном.

может в 100 раз превышать объем красного кровяного шарика — эритроцита. Благодаря большому количеству отростков нервные клетки обладают огромной поверхностью и, кроме того, тесно связаны с многими тысячами таких же клеток.

Физиологи постепенно выявили поразительное многообразие функций мозга. Изучение химического состава отдельных участков головного мозга позволило составить его своеобразную биохимическую топографию.

Ученые, изучавшие процессы обмена веществ в живом организме, мечтали о возможности пометить химическое вещество и, пользуясь «меткой», проследить его судьбу в живом организме, выяснить промежуточные звенья всех химических реакций. Благодаря открытию радиоактивных изотопов осуществлялась мечта ученых иметь в своем распоряжении «меченые» молекулы. Такие молекулы по своим химическим и физическим свойствам не отличаются от природных веществ, входящих в состав тканей, а их превращения в живом организме происходят теми же путями, что и у обычных немеченых частиц. Это замечательное открытие открывает совершенно новые перспективы для научных исследований в биохимии нервной системы.

В деятельности нервной системы, как и во всех без исключения функциях живого организма, решающая роль принадлежит белкам, которые обладают исключительной химической активностью. Чтобы проследить за превращением белковых веществ в нервной системе живого организма при различных ее состояниях, советские ученые использовали аминокислоты, из которых построены белки. Радиоактивная («меченая») аминокислота, введенная в тело животного, используется для образования белковых веществ, в частности белков головного мозга. После этого можно определить, как быстро включается «меченая» аминокислота в белки разных отделов мозга, т. е. получить представление о скорости обновления белков, их синтеза и распада.

Оказалось, что обмен белков протекает интенсивнее в тех отделах головного мозга, функции которых наиболее сложны, а именно в коре больших полушарий. Причем возбуждение центральной нервной системы влечет за собой ускорение химических превращений белков в головном мозгу. Наименее активно обмен белков идет в периферических нервах, которые выполняют роль проводников нервного возбуждения.

И еще одну интересную особенность удалось выяснить в процессе этих исследований: интенсивность обмена белков в центральной нервной системе уменьшается с возрастом животных.

Таким образом, мы видим, что белки играют чрезвычайно важную роль в функции центральной нервной системы, особенно ее высших отделов. Это подтверждает и другие исследования, показавшие, что из всех органических фосфорных соединений, которыми так богата ткань мозга, наиболее быстро обновляются, т. е. наиболее интенсивно участвуют в процессе обмена веществ, соединения фосфорной кислоты с белками — фосфопротеины.

Интенсивный обмен белков означает интенсивный обмен аминокислот. Особенно богат мозг глутаминовой кислотой. Она оберегает мозг от образующегося при обмене белков (или попавшего извне) аммиака. (Аммиак — сильный яд, вызывающий судороги организма.) Поэтому глутаминовая кислота с успехом применяется для лечения эпилепсии. Хотя глутаминовая кислота — заменимая аминокислота, т. е. может синтезироваться в организме, очевидно, ее не всегда бывает достаточно, так как прием этой кислоты помогает при психических и некоторых других болезнях. Она может обезвреживать некоторые лекарственные вещества и, возможно, способствует дыханию мозга. Интересно, что, кроме глюкозы, глутаминовая кислота — единственное вещество, которое интенсивно окисляют ферменты мозга. В мозговой ткани содержится также фермент, превращающий глутаминовую кислоту в гамма-аминомасляную кислоту, а это вещество обладает рядом интересных свойств, в том числе способностью тормозить электрическую активность центральной нервной системы. Возможно, что гамма-аминомасляная кислота может служить медиатором, т. е. веществом, переносящим возбуждение в центральной нервной системе.

Другая особенность мозга и нервов — высокое потребление кислорода (почти 20% всей потребности организма). При этом обмен веществ мозга зависит почти исключительно от глюкозы, что отличает мозг от всех остальных органов, которые могут заменить глюкозу другими веществами. Попытно, почему снижение содержания глюкозы в крови сейчас же отражается на работе мозга.

Действительно, мозг дышит во много раз интенсивнее, чем все другие органы, он тратит кислорода в 20 раз боль-

пе, чем неработающая мышца. Такая расточительность простительна нашему мозгу — верховному распорядителю всех процессов (в том числе и химических превращений), совершающихся в нашем теле. И все же он подвластен законам химии, как и все другие органы. Если мозг раздражать электрическим или химическим путем, то в какие-то доли секунды в нем повышается потребление таких аккумуляторов энергии, как АТФ и креатинфосфата. А наркоз успокаивает мозг, замедляет его дыхание и уменьшает трату соединений, богатых энергией.

Основная работа мозга и нервов заключается в передаче и сохранении различных сигналов. Нервная клетка (нейрон) отличается высоким содержанием калия и низким уровнем натрия. Следовательно, с внешней стороны оболочки — мембраны — нейрона калия значительно меньше. Это различие и создает уже в состоянии покоя разность электрических потенциалов. Для натрия мембрана нервной клетки почти непроницаема. При возбуждении проницаемость мембраны для натрия резко повышается (почти в 500 раз). Ионы натрия устремляются из наружной среды внутрь клетки и тем самым сообщают мембране противоположный заряд. Так возникает потенциал действия: электрический ток, возбуждая соседние клетки, ведет к развитию в них такого же процесса (распространение волны возбуждения — нервного импульса)¹. Но вот наступает кратковременный «отдых» (восстановительный период), и обмен веществ уподобляется «натриевому насосу» — как бы выкачивает ионы натрия из клетки и тем самым восстанавливает равновесие.

Нервная клетка — основная рабочая единица мозга и нервной системы человека. Ее главное назначение — воспринять раздражение², провести нервные импульсы и пе-

¹ Как показала советский ученый Г. М. Франк, распространению импульса соответствует ритмическое вбухание нервного волокна, что можно уловить специальными методами исследования.

² Раздражители могут быть вне или внутри организма. Действие раздражителей воспринимают особые образования — рецепторы (от латинского «реципере» — воспринимать), в качестве которых выступают свободные нервные окончания или специальные образования. Простейший акт, который осуществляет мозг, — рефлекс (отражение) — заключается в ответной деятельности организма. Нервная система организует эту деятельность, передавая возбуждение от рецептора (по центростремительным путям) к центральной нервной системе, а затем по центробежным путям к рабочему органу (эффектору), т. е. к мышцам и железам.

редать их другой нервной клетке или клеткам «исполнительных» органов (мышц, желез). Передача нервного раздражения происходит в местах соприкосновения нервных клеток, называемых синапсами, с помощью специальных веществ. Самым распространенным из химических передатчиков, как уже говорилось, является ацетилхолин. Нервная клетка сама вырабатывает ацетилхолин, затрачивая на это немало энергии. Ацетилхолин накапливается в окончаниях нервных клеток в виде мелких пузырьков и при раздражении (в момент возникновения нервного импульса) выбрасывается в щель синапса маленькими порциями. Некоторые ученые полагают, что процесс выделения происходит непрерывно, а нервный импульс только ускоряет «выбрасывание» порций ацетилхолина. Но как только это вещество сделает свое дело — передаст возбуждение на фермент, холинэстераза разрывает его молекулу на две части: холин и уксусную кислоту. Нервная клетка использует освободившийся холин для синтеза новых порций ацетилхолина.

Существует мнение, что эти процессы протекают не без участия витамина В₁, который может угнетать холинэстеразу и, наоборот, усиливать действие фермента (холинэстеразы), синтезирующего ацетилхолин.

Казалось бы, непонятно, почему холинэстераза разрушает ацетилхолин тотчас после того, как он сработал? Очевидно, все дело заключается в том, что ацетилхолин обладает необычайной биологической активностью. Вот пример: капнем раствором, в котором одна часть ацетилхолина разведена миллиардом частей воды, на изолированное сердце лягушки — оно тотчас же среагирует сокращением. Что бы произошло, если бы холинэстераза не разрушала ацетилхолин тотчас же? В этом случае его захватила бы кровь и, разнеся по всем органам, дезорганизовала их работу.

Помимо ацетилхолина имеются и другие химические передатчики нервного импульса. Большое значение имеют гормоны надпочечников — адреналин и особенно норадреналин. Норадреналин — главный медиатор окончаний симпатических нервов, но он способствует передаче возбуждений и в головном мозге. Физиологи предполагают, что медиаторами могут служить и другие вещества, среди которых назовем серотонин и гистамин. Выявление химической природы медиаторов очень важно и для медицины. Познав их

строение, можно создавать лекарственные вещества, действующие на нервную систему.

Одной из чудесных особенностей мозга является память. Как мы запоминаем номера телефонов или, что гораздо неощущаемее, эпизоды далекого детства? Лев Толстой, например, утверждал, что «помнил» свою мать еще с шестимесячного возраста. Может ли химия помочь расшифровать эту необычайную способность нашего мозга?

Известно, что нуклеиновые кислоты и белки способны хранить информацию. Ни одно, ни другое из известных нам веществ не обладает этим свойством. Так, дезоксирибонуклеиновая кислота — ДНК — передает из поколения в поколение наследственные признаки, т. е. является хранителем генетической памяти.

Огромная информационная емкость нуклеиновых кислот позволила ученым предположить: не имеют ли они отношения к хранению индивидуального опыта — памяти? Первые наблюдения были проведены на червях планариях. Эти черви обладают высокой способностью к восстановлению — регенерации. Разрезанные пополам и даже на более мелкие части, они заново вырастают в целую особь.

Американские исследователи Корнинг и Джон обратили внимание, что разрезание планарий не влияет на сохранение приобретенных ими ранее навыков и форм поведения. Причем «память» сохраняется независимо от того, восстановилась ли новая особь из головной или хвостовой части тела. Так было в обычных условиях. Но ученые изменили условия эксперимента. Они разрезали планарии и помещали их в воду, в которую добавляли небольшое количество фермента рибонуклеазы, разрушающего рибонуклеиновую кислоту (РНК). И тогда планарии, регенерировавшие из хвостовых частей, забывали прошлый опыт, а особи, выросшие из головной части, его сохраняли. Таким образом, рибонуклеаза в одном случае разрушала «молекулы памяти» — РНК, в другом же эти молекулы, находящиеся в головной части, оказались устойчивыми к действию фермента.

Получив такие обнадеживающие результаты в опытах на низших организмах, исследователи обратились к высокоорганизованным животным. Они стали изучать следы прошлого опыта у млекопитающих. Известный шведский ученый Хиден разработал методику изъятия из мозга животных отдельных нервных клеток и определения в них количественного и качественного состава РНК. Этот

удивительно тонкий метод позволил ученому установить ряд интересных фактов. Опыты проводились на крысах. Животных обучали определенным формам поведения: передвигаться по натянутой проволоке, доставать передней лапой пищу из узкой трубки. Оказалось, что в первых клетках, участвующих в выработке вновь приобретенных навыков, заметно увеличивалось количество РНК. Так, если животное умело передвигалось по проволоке, количество ее увеличивалось в скоплении первых клеток, регулирующих работу вестибулярного аппарата. При обучении крыс умению доставать лапой пищу из трубки увеличивалось количество РНК в клетках коры головного мозга. Было установлено, что вновь образуемая РНК по химическому составу отличается от той, которая ранее содержалась в первых клетках животных.

Другие ученые сделали еще одно важное наблюдение: введение в организм животного химических веществ, изменяющих состав РНК, затрудняет выработку условных рефлексов и наоборот, если животному ввести РНК, оно очень быстро приобретает необходимые навыки поведения. Все эти эксперименты убедительно свидетельствуют о том, что РНК участвует в процессах запоминания и хранения памяти.

Новые данные были получены в исследованиях советских ученых. Опыты проводились на белых мышах, у которых вырабатывали условный рефлекс бега в Т-образном лабиринте. Опыт заключался в следующем: после звонка мышь должна убежать в безопасное место, иначе она получит электрический удар, так как пол лабиринта выстлан тонкой проволокой, через которую в нужный момент пропускали ток. У животных появлялся условный рефлекс. Но когда в мозг этим животным вводили рибонуклеазу, разрушающую РНК, то все выработанные рефлексы исчезали. В то же время врожденные формы поведения — рефлексы сосания, отряхивания, лизания — оставались неизменными. Значит, фермент разрушал только вновь образованную РНК. Все эти факты указывают на непосредственное отношение вновь образованной РНК к выработке условных рефлексов, но не объясняют механизма ее образования.

К разрешению вопроса подошли следующим путем: мышам, прежде чем выработать у них условные рефлексы, вводили различные химические вещества, избирательно

действующие на обмен нуклеиновых кислот. Оказалось, что эти вещества вызывают резкую задержку формирования условных рефлексов у животных и что к образованию новой РНК имеет прямое отношение ДНК.

Конечно, можно было бы думать, что РНК как бы шифрует, кодирует каким-то образом память, является местом ее хранения. Но для такого вывода пока еще мало прямых доказательств. Ведь можно допустить и то, что РНК — только промежуточный этап по пути к другому веществу, кодирующему память. Поэтому более правильно сейчас говорить о том, что РНК имеет непосредственное отношение к процессам запоминания. Это, казалось бы, на первый взгляд скромное заключение на самом деле имеет большое значение. Ведь до самого последнего времени ученые совершенно не представляли себе, с каким именно материальным веществом связана память.

Ученым еще далеко не все ясно в сложнейших механизмах памяти. Они еще слабо представляют себе, каким образом нервные импульсы влияют на химические процессы в клетке, вызывают синтез молекул РНК, принимающих участие в запоминании. Механизмы процессов воспоминания пока не раскрыты, но пробита первая брешь на пути исследования сложнейшего психологического процесса — памяти. И самое главное, что под механизм запоминания и хранения памяти подведена материальная, химическая основа. Возможно, что те, кто уже в наше время начали лечить ослабевшую память введением в организм препаратов РНК (а такие попытки делаются), несколько поторопились¹. Но можно с уверенностью сказать, что не за горами то время, когда будут раскрыты пути преобразования нервных импульсов в биохимические реакции, обеспечивающие синтез не какой-нибудь РНК, но именно той, с которой связана память. Значительный вклад в химию нервной системы внесли А. В. Палладин и его сотрудники Е. М. Крепе, Г. Е. Владимиров, А. М. Утевский, П. А. Коменгани, Г. Х. Бунятян.

¹ Одним из главных препятствий можно считать трудность в «доставке» РНК в клетки мозга. Непреодолимые препятствия прежде всего в том, что фермент рибонуклеаза, содержащийся в любой клетке нашего организма, расщепляет РНК.

Мышцы

«Труд создал человека» — к такому выводу пришел Энгельс. Эту мысль Энгельса подтвердили сотни научных исследований. Труд создал материальные ценности, источник благополучия человека, труд укротил грозные стихии и преобразовал природу. Все вокруг нас создано человеческим трудом. И овладевая орудиями труда, совершенствуя их, воздействуя ими на окружающие предметы, человек изменял природу и изменялся сам.

Чем дальше человек уходил от животных предков, тем больше он развивался физически. К чему сводится движения наземных животных? В основном к передвижению в поисках пищи: ходьбе, бегу, прыжкам, иногда к лазанию по деревьям или скалам. Мощные челюсти, необходимые для того, чтобы удерживать добычу и разгрызать кости или пережевывать траву и листья, дополняют работу ног животного.

Сравним животных и человека. В результате эволюции человек сумел оторвать руки от земли и стал передвигаться на двух ногах. Он выпрямился во весь рост. Благодаря этому перед ним открылись беспредельные возможности, он стал исключительно сильным. Даже ноги человека стали сильнее ног животного. Сравним человека со слоном, животным исключительной силы, и сравнение будет не в пользу слона. В самом деле, когда слон стоит, на каждую его ногу приходится только одна четверть всего веса животного, а у человека — половина. Оттого что руки человека занялись трудом, ноги стали более сильными и ловкими.

Положение нашего тела исключительно неустойчиво (механики так и называют это «положение неустойчивого равновесия»). Очень трудная задача при высоком положении центра тяжести и очень незначительной, как у человека, площади опоры сохранить тело в вертикальном положении. А если он берет в руки какой-либо груз, центр тяжести тела смещается и поддерживать равновесие еще труднее; это удастся сделать только с помощью тончайшего комплекса мышечных напряжений. Мышцы туловища поддерживают человека в вертикальном положении, служат опорой для рук, помогают движениям в труде. С первых этапов истории человечества труд способствовал перестрой-

ке его телосложения, развитию мускулатуры, обогатил двигательными возможностями.

Но процесс труда развивал не только мышцы, он способствовал и совершенствованию мозга. Ни у кого из животных двигательная область коры головного мозга не достигла такого развития, как у человека. Индивидуальное развитие каждого человека неразрывно связано с его трудом. Бездеятельность обуславливает отсутствие развития, уменьшение и ослабление органов нашего тела. Физический труд развивает мускулатуру тела, точность движений. Очень важно и то, что в труде воспитывается выносливость, способность преодолевать утомление.

Некоторые думают, что настоящий источник здоровья — это отдых. Глубокая ошибка. Отдых без работы — бездействие. Без труда отдыха не существует. Труд без отдыха истощает, но и отдых должен иметь свои границы, продолжаясь лишь столько времени, сколько требуется для восстановления сил. Если отдых затянулся, он становится вредным, мышцы начинают атрофироваться. Наиболее целесообразен активный отдых, переключение одной деятельности на другую. Это бессознательно делают дети, они почти никогда не устают, потому что постоянно переключаются с одной игры на другую.

Труд — источник здоровья, всестороннего развития человека. И разобраться в механизме действия труда на организм человека помогла химия. Но прежде всего уясним себе, как работают мышцы.

Известно, что работа мышцы проявляется главным образом в ее сокращении. Одни мышцы приводят в движение кости нашего скелета, а без участия других была бы невозможна деятельность внутренних органов: сердца, легких, кишечника, мочевого пузыря. Координирует все функции организма, в том числе и сложную работу мышц, нервная система.

Волокна нервных клеток, расположенных в спинном и головном мозге, разветвляясь, подходят ко всем мышцам. В зависимости от величины мышцы нервные волокна в одних случаях возбуждают три — шесть мышечных волокон, а в других 120—160. Сокращение мышцы возникает тогда, когда она получает команду от мозга. Мышечные волокна возбуждаются не только двигательными нервами, но и еще особыми, трофическими нервами (от греческого слова «трофе» — питание), которые облегчают передачу возбуждения

с перва на мышцу, а также усвоение мышечной тканью питательных веществ, доставляемых кровью.

Весь период сокращения мышечного волокна равен примерно 0,04 сек. А ведь наши движения более длительные по времени. Следовательно, они складываются из серии отдельных мышечных сокращений, непрерывно следующих друг за другом. Такие сокращения, называемые физиологами тетанусом, и лежат в основе мышечной работы человека.

Чтобы совершать простые или сложные мышечные движения, надо обязательно сохранять устойчивое положение тела в пространстве. Это достигается благодаря длительному напряжению — сокращению ряда мышц. Такая работа мышц называется тонической. Каждая мышца, участвующая в мышечной работе или в поддержании равновесия, сокращается и расслабляется в строго определенной последовательности, точно согласуя свою работу с работой всех остальных мышц нашего тела.

Как же устроена мышца, что является ведущим в процессе сокращения и что собой представляет сократительное вещество? По характеру сокращения все мышцы делятся на две большие группы: мышцы произвольного сокращения, т. е. действующие в зависимости от нашей воли, — поперечнополосатые — и непроизвольного сокращения — гладкие, которые выстилают кровеносные сосуды, пищеварительный тракт и другие внутренние органы. Особое место по своему строению и функции занимает такая мышца, как сердце. Она поперечнополосатая и в то же время сокращается непроизвольно.

Поперечнополосатые мышцы названы так потому, что под микроскопом отчетливо видны длинные полоски и пересекающие их поперечные линии. Эти мышцы состоят из вытянутых клеток, длина которых достигает у человека пяти сантиметров, а толщина — пяти микронов. Каждая мышечная клетка, или волокно, заключено в эластичную оболочку, внутри расположены ядро, цитоплазма и миофибриллы — основной сократительный аппарат мышцы.

Каждую миофибриллу удалось расщепить на множество нитей, из которых были выделены толстые и тонкие. В мышечной клетке они расположены в строго определенном геометрическом порядке: вытянуты вдоль всей клетки так, что тонкие нити находятся между толстыми. Построены нити из белков: тонкие из актина, толстые из

миозина. Эти белки способны соединяться друг с другом, образуя совершенно новый белок — актомиозин, который обладает замечательным свойством — сократимостью.

Ученые сумели воспроизвести каждый этап сложнейшего процесса мышечного сокращения. В периоде покоя тонкие нити, закрепленные на вертикальных полосках, располагаются возле толстых нитей так, что едва заходят друг за друга. При сокращении тонкие нити смыкаются, и получается строгое чередование сплошных длинных тонких и коротких толстых нитей. Электронный микроскоп помог обнаружить на толстых нитях небольшие шипики, которыми они во время сокращения скрепляются с тонкими, образуя своего рода механизм зубчатой передачи¹.

Таким образом, биохимия мышечного сокращения — это не что иное, как соединение двух белков и образование третьего, сократимого белка. Но откуда организм черпает энергию для мышечного сокращения?

Любое движение, происходящее в организме, требует затраты энергии. Мы уже упоминали, что основным источником ее служат особые фосфорные соединения, которые образуются в теле человека в результате многих последовательных химических реакций. Из таких соединений наиболее важен аденозинтрифосфат, или АТФ. В состав молекулы этого вещества входят три остатка фосфорной кислоты, из которых два очень прочно связаны с остальной частью молекулы АТФ. Когда в процессе многоступенчатых химических превращений такие связи разрываются, высвобождается энергия, необходимая организму для самых различных процессов жизнедеятельности.

Советские биохимики В. А. Энгельгард и М. Н. Любимова установили, что миозин и актомиозин обладают способностью расщеплять АТФ. В результате этого процесса в организме освобождается энергия, необходимая для сокращения мышц. Так была неопровержимо доказана связь определенных структурных элементов мышцы и ее

¹ Английский биолог Э. Хаксли объясняет сокращение миофибриллы проскользыванием тонких нитей между толстыми (принцип «скольжения», используемый в эластичных браслетах для часов). Но механизм сокращения мышц пока еще не расшифрован полностью. К сожалению, современным двигателям далеко до мышц, которые могут использовать для сокращения до 50% химической энергии пищевых веществ.

функции с использованием энергии, заключенной в фосфоросодержащих веществах.

В конечном итоге мышечное сокращение представляет собой сложный процесс, который начинается передачей возбуждения с нерва на мышцу, затем возбуждение распространяется по всей поверхности мышечного волокна, и происходит реакция актомиозина с АТФ. АТФ образуется главным образом в элементах мышечного волокна — митохондриях, которые справедливо называют энергетическими, или силовыми, станциями клетки.

Мы знаем, что после сокращения мышца расслабляется, как бы отдыхает. Что же происходит в этот период? Современные исследования показывают, что расслабление мышцы — отнюдь не пассивный процесс, как можно было бы думать. Во время расслабления мышца не только пополняет израсходованные запасы, но и готовится к следующему сокращению. Ученые объясняют расслабление мышцы действием химического вещества, которое, возможно, связывает актомиозин и не позволяет ему в данный момент расщеплять АТФ.

Но дело не в одной АТФ. Если представить себе актомиозин как машину, осуществляющую работу (сокращение) мышц, а АТФ как поставщика горючего для этой машины, то в сокращающей мышце запасы АТФ должны истощаться. Опыты показали, что это не так. В работающей мышце количество АТФ меняется мало, зато исчезает другое богатое энергией вещество — креатинфосфорная кислота — КФК.

Но чем объяснить, что энергию поставляет АТФ, а исчезает КФК? Ученые объясняют это несоответствие следующим образом: энергию поставляет КФК, но не прямо, а через АТФ, которая вводит энергию в актомиозин. Представим себе пожар, который тушат старым способом, передавая ведра воды из рук в руки: АТФ забирает «ведро энергии» из бочки — креатинфосфата, передает его мышце и снова забирает другое такое же ведро. Следовательно, энергия АТФ не растрачивается, так как она непрерывно пополняется.

В организме работа мышц вызывается импульсами, направляющимися к ним по двигательным нервам от центральной нервной системы. Усиленная работа мышц приводит к их утомлению: накоплению молочной кислоты и продуктов распада аденозинтрифосфорной и креатинфосфор-

ной кислот. Молочная кислота и ядовитый аммиак легко переходят из мышц в кровь. В 100 г крови человека в состоянии покоя содержится 10—20 мг молочной кислоты. Достаточно, однако, человеку заняться пилой дров или пробежать 1—2 км, и цифра эта может подскочить до 100 мг! Таким образом, уровень молочной кислоты (и некоторых других веществ) в крови — хороший показатель изменений в химии организма при работе, особенно при тяжелом труде, когда наше тело ощущает острую нехватку кислорода. Одновременно с этими процессами кровь доставляет мышцам питательные вещества (глюкозу, ацетоксусную кислоту и др.), которые используются мышцами.

При правильном сочетании периодов работы и отдыха мышцы в организме могут работать продолжительное время без накопления в них молочной кислоты и продуктов распада других сложных веществ (аденозинтрифосфорной и креатинфосфорной кислот), а также без признаков утомления. Это объясняется тем, что в период отдыха интенсивно протекают окислительные процессы, сопровождающиеся образованием сложного углевода — гликогена из молочной кислоты, а также аденозинтрифосфорной и креатинфосфорной кислот — из продуктов их распада. Только в тех случаях, когда распад энергетически важных веществ в мышцах в период работы происходит более интенсивно, чем их синтез в период отдыха, в мышцах накапливаются такие вещества, как молочная и инозиповая кислоты (последняя — продукт дефосфорилирования и дезаминирования аденозинтрифосфорной кислоты), аммиак, креатин и фосфорная кислоты. Мышцы утомляются постепенно, и для восстановления их работоспособности в этих случаях требуется продолжительный период отдыха.

Изучая мышечную деятельность людей, ученые получили ряд интересных данных. Например, у спортсменов систематическая тренировка способствует увеличению массы мышц. Однако разные виды спорта по-разному сказываются на облике спортсменов. Без труда можно отличить, приземистого, плотного штангиста от стройного, худого волейболиста. И это в значительной степени зависит от того, какие именно мышцы вовлекаются в работу.

Большая потребность организма спортсмена в кислороде вызывает усиленную работу легких и сердца. Кислород из легких поступает в кровь, а с кровью переносится к мышцам. Кровь — главный транспортер кислорода. Ясно,

что если сердце протолкнет через легкие мало крови, то мышцы получают его недостаточно. Чем больше крови пройдет через легкие, тем больше кислорода будет доставлено к мышцам. Но мышцы забирают из крови не весь содержащийся в ней кислород. Те мышцы, которые находятся в покое, используют лишь одну четвертую часть кислорода. Остальные три четверти кровь уносит неиспользованными. Зато мышца, совершающая работу, потребляет гораздо больше кислорода — до трех четвертей того количества, которое содержится в крови. Всего одна четвертая часть кислорода остается неиспользованной и уносится венозной кровью.

Советские ученые (В. С. Фарфель) обстоятельно изучили потребность организма спортсмена в кислороде. Рассмотрим такой пример: во время тренировок бегун и лыжник нуждаются в одинаковом количестве кислорода. А теперь выясним, одинаковое ли количество крови требуется проталкивать сердцу бегуна и сердцу лыжника, чтобы захватить кислород из легких и перенести его в мышцы. В то время как у лыжника работают почти все мышцы, у бегуна — только часть, поэтому содержание кислорода в венозной крови лыжника, идущей от мышц к сердцу, а от него к легким невелико. Но зато у лыжника сердце поглотит кислорода в большем количестве, пока полностью им не насытится. У бегуна же к легким притекает кровь не только от работающих мышц, но и от неработающих, поэтому его венозная кровь богаче кислородом, чем у лыжника. Следовательно, равные порции крови лыжника и бегуна получают в легких неодинаковые количества кислорода: порция крови бегуна получает меньше, чем лыжника. Однако оба спортсмена нуждаются в одинаковом количестве кислорода. Каким же образом кровь бегуна сможет захватить такой же объем кислорода, как и кровь лыжника? Очень просто: за счет большего количества крови, прогоняемой сердцем через легкие. Таким образом, при одинаковом потреблении кислорода сердце бегуна перекачивает больше крови, чем сердце лыжника. Так как сердце лыжника несет меньшую нагрузку, чем сердце бегуна, становится понятным, отчего лыжник может так долго работать, не чувствуя усталости.

К чему же сводится сущность тренировки с точки зрения биохимии? У нетренированного человека, выполняющего тяжелую мышечную работу, содержание глюкозы в кро-

ви значительно понижается. В результате мозг получает недостаточное количество сахара и работоспособность его ухудшается. Это легко проверить на себе; попробуйте в этот период съесть несколько кусков сахара и ваше самочувствие (показатель состояния мозга) значительно улучшится. Тренированный организм начинает более экономно расходовать свои внутренние запасы.

Кроме этих общих закономерностей в организме происходят специфические изменения, зависящие от характера тренирующих нагрузок. Например, бег на короткие дистанции требует быстрой мобилизации химической энергии, в частности немедленного вступления в реакцию АТФ.

Следовательно, успех спортсменов в данных соревнованиях определит именно эта способность его организма. Марафонский бег и другие состязания, требующие выносливости, длительной работы, напряжения, связаны с иными биохимическими показателями организма. В данном случае успех зависит от общей величины энергетических запасов организма, в первую очередь богатых энергией фосфорных соединений, быстрого восстановления их во время бега.

При обычной физической работе, а также при физических упражнениях утомление наступает не в результате истощения запасов энергетически важных веществ, а от иных причин (недостаточно интенсивного снабжения мышц питательными веществами с кровью, удаления продуктов обмена веществ и т. д.). Другими словами, мышцы как бы отравляются и одновременно частично «недоедают».

Хорошо известно, что привычный к работе тренированный организм обладает большой работоспособностью. В таком организме слаженно работают различные органы. В результате этого мышцы лучше снабжаются питательными веществами, из них интенсивнее удаляются конечные продукты обмена веществ. В тренированном организме процессы кровообращения и дыхания протекают более слаженно, чем в нетренированном. Тренировка влияет также непосредственно на мышцу, на ее химический состав и на интенсивность процессов обмена веществ. Установлено, что систематическая работа мышц приводит к повышению содержания в них гликогена и к более быстрому устранению молочной кислоты и продуктов распада других веществ.

Тренировка приводит к более интенсивному и вместе с тем к более экономному использованию питательных ве-

ществ в мышцах. Это происходит по той причине, что тренировка влияет не только на химический состав мышц, но и на ферментативные процессы, обеспечивающие использование углеводов и других веществ, доставляемых мышцам с кровью. Работа тренированных мышц сопровождается меньшим накоплением в них молочной кислоты, более быстрой отдачей ее в кровь, чем работа нетренированных мышц. Любой вид спорта, систематические занятия физической культурой закаляют организм, делают его более выносливым и, что самое важное, увеличивают в тканях запасы фосфорсодержащих веществ, в первую очередь АТФ.

Большое влияние на состояние мышц оказывают железы внутренней секреции. Незнаваемо меняется внешний облик подростка в период полового созревания. В этот период в результате усиленного действия гормонов он быстро растет, у него увеличивается мышечная масса тела.

Исследования последних лет показали, что трудоспособность и мышечная активность человека зависят также от качества пищи, содержания в ней витаминов. Наиболее важным для мышечной деятельности оказались витамины группы В, в частности витамин В₁. Он способствует проведению нервного импульса, передаче возбуждения с нерва на мышцу, увеличению в организме запасов богатых энергией фосфорных соединений.

Значительный вклад в изучение химии мышц внесли В. С. Гулевич, А. В. Палладин, В. А. Энгельгардт, С. Е. Северин, Д. Л. Фердман, И. И. Иванов, Н. Н. Яковлев.

8

Кровеносная система

Нельзя представить себе жизнь государства, общества без непрерывного движения по транспортным дорогам грузов с продуктами питания для населения, сырьем для промышленности. Точно так же не может существовать организм человека или животного без постоянного обмена веществ.

По артериям, венам и капиллярам нашего тела постоянно циркулирует кровь, разнося во все органы и клетки организма кислород, воду, питательные вещества. Кровь же уносит из тканей образующиеся в процессе обмена вредные продукты, которые затем выводятся из организма через легкие, кожу, почки, кишечник.

Кровь имеет огромное значение для организма. Быстрая потеря крови приводит к смерти. А перелитая в вены или артерии кровь возвращает к жизни умирающих и даже таких больных, у которых наступила клиническая смерть...

В наше время трудно представить себе работу врача, который не учитывал бы данных анализа крови. Наблюдения за составом крови и происходящими в ней химическими превращениями помогают врачу выявлять заболевания, находить пути их лечения.

Методы изучения состава крови непрерывно совершенствуются. Наука почти ежегодно обогащается новыми данными, раскрывающими сложность состава и разнообразие химических процессов, происходящих в крови. Новые же данные о химии крови помогают врачам глубже проникать в тайны болезней, увереннее и эффективнее их лечить. Так как состав крови отражает, как зеркало, различные изменения химизма здорового и больного организма, мы уделим этой транспортной ткани (не следует удивляться

такому определению: кровь — жидкость, но обладает всеми признаками ткани) особое внимание.

Сотни миллионов лет назад на поверхности нашей планеты появились комочки живого белкового вещества. Прошли миллионы лет, и возникли первые одноклеточные организмы — микроскопические капельки жизни, обитавшие, по-видимому, в водах первичных океанов.

Однако клетка только кажется простым белковым комочком с ядром внутри. В действительности каждая клетка устроена очень сложно, и это позволяет ей осуществлять такие важные функции всякого организма, как питание, рост, движение и размножение.

В результате длительной эволюции из одноклеточных организмов, плававших в морской воде в виде капелек, развились разнообразные многоклеточные организмы, населившие воду и сушу. Из них в свою очередь возникла и наиболее высокоразвитая форма живой материи — человек.

Среди миллиардов клеток нашего тела насчитывается более 200 различных форм. Эти клетки утратили способность к самостоятельной жизни и выполняют разнообразные, строго дифференцированные функции в жизни организма. Но есть в нашем теле жидкость, которая по своему солевому составу напоминает морскую воду. Эта жидкость — кровь. Кровь представляет собой как бы замкнутое внутри организма море, в котором существуют клетки, во многом напоминающие наших древних, самостоятельно живших предков. Это белые кровяные тельца — лейкоциты.

Жидкая часть крови носит название плазмы. В ее состав входят клетки, которые называют обычно форменными элементами крови: белые тельца — лейкоциты, кровяные пластинки — тромбоциты и красные кровяные тельца — эритроциты. Плазма и форменные элементы крови играют важную роль в жизни организма. Главной составной частью крови являются эритроциты. Без эритроцитов наш организм не мог бы дышать, другими словами, не мог бы жить. Вот почему эритроциты составляют основную массу форменных элементов крови: в 1 мм³ крови содержится около 5 млн. этих телец. Следовательно, в 5 л (таков средний объем крови в организме человека) число эритроцитов достигает астрономических цифр. Достаточно сказать, что эритроциты крови одного только человека, выложенные слоем в одну клетку, могут покрыть площадь в 3800 м²! Каждый эритроцит представляет тельце губча-

того строения, мелкие поры которого до отказа «забиты» гемоглобином, тем самым веществом, которое помогает обеспечивать органы и ткани кислородом и освобождать их от вредной углекислоты. Природа удивительно приспособила эритроциты к выполнению жизненно важной функции по обеспечению дыхания организма.

Но ведь дыхание осуществляется легкими, скажет читатель. Совершенно верно, именно в легких, попадая туда с током крови, эритроциты соприкасаются с вдыхаемым воздухом, из которого гемоглобин захватывает кислород. Богатая кислородом алая кровь доставляет его через сердце и артерии во все органы и ткани. Сюда же в легкие с обратным током крови (по венам) эритроциты приносят углекислоту в виде неустойчивого соединения с гемоглобином. В этом и заключается сущность процесса дыхания.

С функцией дыхания связано и то обстоятельство, что эритроциты в крови человека и высших животных не содержат клеточного ядра; этим выигрывается место для гемоглобина. Интересно, что кровь многих низших животных содержит ядерные эритроциты. В крови человека и высших животных молодые эритроциты, образуемые костным мозгом, тоже содержат ядра. Но в процессе постепенного созревания эритроцитов ядра исчезают.

Выполняя свою работу, эритроциты быстро изнашиваются. Они живут обычно не более трех-четырех месяцев. Изношенные эритроциты попадают на своеобразное кладбище — в селезенку, где они разрушаются, а образовавшиеся обломки с током крови вновь попадают в костный мозг и используются для воссоздания новых эритроцитов.

Белые кровяные тельца — лейкоциты — защищают организм от проникающих в него болезнетворных микробов. При появлении микробов в какой-либо части организма лейкоциты устремляются к ним, захватывают и уничтожают их. Рассматривая капелючку крови под микроскопом, можно видеть, как лейкоцит направляется прямо к микробу, затем образует отросток, которым его захватывает, втягивает внутрь своего тела и переваривает. Великий русский ученый И. И. Мечников, открывший это явление, назвал белые кровяные тельца фагоцитами (от греческого слова «фагос» — пожирающий).

В органах нашего тела (например, в печени, селезенке) находятся и другие фагоциты — особые соединительнотканые клетки. Но, в отличие от лейкоцитов, они непод-

вижны и захватывают только тех микробов, которые оказываются вблизи. Лейкоциты же сами активно устремляются к врагу (они чувствительны к веществам, выделяемым микробами) и препятствуют дальнейшему проникновению микробной инфекции. Для этого лейкоциты могут выходить из русла кровеносных сосудов в окружающие их ткани.

Масса лейкоцитов гибнет в борьбе с микробами. Если капельку гноя, часто образующегося в местах внедрения микробов, рассмотреть под микроскопом, можно легко убедиться, что основное содержимое ее составляют трупы лейкоцитов.

Роль эритроцитов и лейкоцитов изучена хорошо. Значительно меньше мы знаем о кровяных пластинках — тромбоцитах. Обычно принимают, что в 1 мм³ крови здорового человека содержится 300 тыс. кровяных пластинок (300 млрд. в 1 л крови). Но это количество может заметно колебаться даже на протяжении суток.

Относительно роли тромбоцитов высказано много предположений. Вероятнее всего, эти кровяные пластинки являются центрами, около которых начинается свертывание крови при нарушении целостности сосуда (отсюда и их название «тромбос» в переводе с греческого значит — сгусток).

В крови человека все форменные элементы составляют около 45% ее объема. Остальные 55% приходятся на жидкую плазму. После свертывания крови из плазмы выпадает сгусток белка — фибрина, остается жидкая часть, которую называют сывороткой.

Мы уже говорили, что в теле взрослого человека содержится около 5 л крови. Обычно считают, что кровь составляет 7% веса тела (у детей несколько больше). Объем крови может увеличиваться (после введения жидкости) или уменьшаться, но в организме здорового человека эти изменения незначительны, так как между жидкостью внутри сосудов и в тканях поддерживается равновесие.

Пути, по которым течет кровь

Ткани нашего тела должны постоянно получать питание, дышать и освобождаться от ядовитых веществ, образующихся в результате жизнедеятельности клеток. Подавляющую часть этой работы выполняет кровь, беспрестанно

циркулирующая в организме. Кровь течет в сосудах, составляющих кровеносную систему, подобно воде в сети водопроводных труб. Кровеносная система состоит из центрального органа — сердца и соединенных с ним замкнутых трубок различного диаметра — кровеносных сосудов.

Сосуды, несущие кровь от сердца, называются артериями¹, начальный отрезок артериальной системы — аортой. Это самый крупный сосуд во всем организме: его диаметр 25—30 мм. Аорта отходит от левого желудочка сердца, и сразу же от нее начинают ответвляться многочисленные артерии. Чем дальше от сердца, тем просвет артерий, разделяющихся на ветви, становится все уже и, наконец, в толще органов они переходят в тончайшие сосуды (артериолы) и дальше в густую сеть мельчайших волосных сосудов, или капилляров.

Капилляры так малы, что видны только под микроскопом. Через мельчайшие отверстия (поры) в их тончайших стенках, состоящих из одного слоя клеток, доставляемые по артериям питательные вещества и кислород проникают в окружающие ткани. А из них в капилляры поступают отработанные продукты, в том числе и углекислота. Таким образом, благодаря густой сети волосных сосудов осуществляются процессы питания клеток нашего организма.

При некоторых заболеваниях проницаемость капилляров повышается. Размеры пор увеличиваются, они начинают пропускать уже не только небольшие молекулы питательных веществ — сахара, аминокислот, витаминов, но и значительно более крупные частицы белка и даже красные кровяные шарики. Капилляры становятся хрупкими, легко разрываются и появляются кровоизлияния в ткани. (Кровоизлияние можно, например, обнаружить по образованию синяков под кожей.)

Повышенную хрупкость капилляров можно устранить, давая витамин Р и родственные ему вещества. Такими веществами, по исследованиям советских ученых, оказались катехины, содержащиеся в большом количестве в чае, а также во многих фруктах и ягодах. Возможно, что стенки

¹ Этот термин, как известно, не точен, так как слово «артерия» означает «воздухоносная». Оно возникло у древних греков, которые, не зная, что после смерти кровь из артерий уходит в вены, находили у трупов артерии пустыми и считали, что они всегда заполнены воздухом.

капилляров укрепляют не сами катехины, а гормон надпочечников адреналин, а катехины только выступают в роли «телохранителя» адреналина. Возможно и другое объяснение: катехины устраняют действие фермента — гиалуронидазы, который разрушает входящую в состав стенки капилляров гиалуроновую кислоту. Наконец, возможно, что катехины действуют вообще на всю гормональную систему нашего тела. Как бы то ни было, катехины — верные помощники врача, особенно успешно действующие вместе со своим напарником — аскорбиновой кислотой (витамином С).

Соединяясь между собой, капилляры постепенно переходят в небольшие сосуды (венулы), из которых в свою очередь путем слияния образуются все более и более крупные сосуды — вены. По этим сосудам кровь, насыщенная отработанными продуктами обмена веществ, оттекает от тканей и устремляется к сердцу. Поступив в правое предсердие, а затем в правый желудочек, венозная кровь пергоняется из него по так называемым легочным артериям в легкие. Проходя через капиллярную сеть, оплетающую легочные пузырьки — альвеолы, кровь отдает углекислому и получает новый запас кислорода. После этого окисленная кровь оттекает из капилляров легких теперь уже по легочным венам обратно в сердце, в его левое предсердие, затем — в левый желудочек, откуда выталкивается в аорту, и начинается новый кругооборот по организму.

Таким образом, весь путь крови подразделяется на два отдела: большой и малый круги кровообращения. Большой круг — путь от сердца к органам тела и обратно. А малый круг — путь, который кровь проходит через легкие. Большой круг обеспечивает питание и дыхание тканей, а легочный — освобождает кровь от углекислоты и снабжает ее кислородом.

Работа крови

Кровь, циркулирующая в кровеносной системе животных и человека, приходит в соприкосновение со всеми тканями и клетками организма. В нее поступают самые разнообразные вещества, необходимые для питания организма, и продукты обмена веществ, подлежащие выделению. Поэтому кровь отличается исключительным богатством химического состава. Более 200 различных веществ встреча-

ются в крови, переплетаясь друг с другом в самых причудливых соотношениях. Но весь этот кажущийся хаос позволяет крови выполнять ее основные функции.

А функции крови очень многообразны. Она обеспечивает дыхание, доставляя кислород к тканям и двуокись углерода от тканей к легким; снабжает ткани питательными веществами, транспортируя их от пищеварительного канала; удаляет продукты обмена, накопление которых вызвало бы самоотравление организма, перенося их от тканей к выделительным органам. Вместе с тканевой жидкостью кровь обеспечивает условия для химических процессов, растворяя вещества, которые вступают в реакции только в таком виде; она же поддерживает водный баланс и постоянную температуру нашего тела. Кровь защищает наш организм от микробов и других вредных факторов, мобилизуя для этого лейкоциты и специальные белковые тела. Она регулирует работу органов и тканей благодаря действию содержащихся в ней химических веществ и гормонов. Можно было бы перечислить еще много других функций крови — этой особой ткани нашего тела.

Хотя о малокровии известно уже с давних времен, только применение специальных методов исследования позволило ознакомиться как следует с этим заболеванием. Выяснилось, что очень часто малокровие в соответствии со своим названием действительно сопровождается уменьшением общего количества крови. Однако встречаются и такие случаи, когда объем крови не только не уменьшен, а даже, наоборот, увеличен, но количество красных телец и гемоглобина все же понижено. Вот почему, предполагая у большого малокровие, врач особое внимание обращает не столько на общий объем крови, сколько на определение количества красных кровяных телец и гемоглобина.

В организме человека непрерывно происходят биохимические процессы, которые возможны лишь в присутствии кислорода. Чтобы многочисленные клетки организма могли безотказно получать весь необходимый им кислород, должны безупречно работать аппарат дыхания (снабжение организма кислородом) и сердечно-сосудистая система (транспортирование кислорода). Для этого необходимо также определенное количество эритроцитов — переносчиков кислорода.

Ясно, что при малокровии, когда количество красных кровяных телец и гемоглобина уменьшено, снабжение

клеток кислородом ухудшается. Кислородная недостаточность вызывает неприятные явления: возникают общая слабость, головная боль, сердцебиение, повышается утомляемость. Кислород нужен всем клеткам, тканям и органам. Когда его мало, страдает весь организм и особенно центральная нервная система.

Существуют различные формы малокровия; многочисленны и разнообразны причины, вызывающие их.

Химический состав крови находится под контролем «верховного органа» нашего тела—центральной нервной системы, но и сам влияет на нее. Чтобы ясно представить эту зависимость, приведем такой пример.

Если, с тех пор как вы позавтракали, прошло определенное время, пищевые вещества в значительной мере переварены и унесены кровью, то у вас возникает чувство голода. Это значит, что «голодной» стала ваша кровь. Она обеднела пищевыми веществами, химический состав ее изменился. На это изменение в составе крови пищевой центр в мозгу реагирует возбуждением. Он и вызывает ощущение голода. Когда же вы плотно пообедали, кровь изменил свой химический состав, приобретает свойства «сытой» крови. Такая кровь способствует торможению пищевого центра, возникает ощущение сытости. Но если вы увлечены работой, забыли о еде, то, хотя время еды уже подошло, вы не ощущаете голода — деятельность пищевого центра подавлена другими раздражителями.

Рождающие жар

Как известно, тело человека и многих животных имеет постоянную температуру. Она поддерживается кровообращением, химическими процессами в крови и в тканях. Интенсивная мышечная работа, нервное возбуждение, страх, тревога, радость и другие сильные переживания могут вызвать у нас повышение температуры.

В повседневной жизни мы привыкли отождествлять высокую температуру тела с болезнью. На первый взгляд может показаться странным, что у человека можно вызывать искусственную лихорадку с высокой температурой, т. е. болезнь с целью лечения другой болезни. Но еще в прошлом веке врачи заметили, что «случайные», сопутствующие заболевания, протекающие с высокой температурой (например, малярия, рожа), иногда способствуют об-

лечению и даже «исцелению» от некоторых хронических болезней. Метод лечения, при котором у больного вызывают высокую температуру, называется пиротерапией. В последние 10—15 лет врачи стали шире пользоваться пиротерапией. Это произошло благодаря тому, что из разных бактерий удалось приготовить новые высокоактивные и практически безвредные для организма человека препараты, создающие искусственную лихорадку.

На чем основано применение такого метода лечения? Чтобы ответить на этот вопрос, сделаем небольшое отступление и познакомимся с сущностью тех явлений, которые возникают в организме под влиянием болезнетворных начал.

Как известно, любая болезнь сопровождается нарушениями деятельности тканей и органов и прежде всего отражается на первых механизмах, которые ведают этой деятельностью. Как говорил И. П. Павлов, в организме происходят «поломы». Но наряду с этим возникают и другие процессы — приспособительные и компенсаторные изменения функций различных органов и тканей. Это своеобразные защитные реакции организма на повреждения и «поломы». Они очень важны, так как способствуют восстановлению нарушенных функций, заживлению дефектов, т. е. выздоровлению.

Если бы в нашем организме в ходе болезни не возникали приспособительные процессы, сломанные кости не срастались бы, не заживали бы раны, болезнь не оканчивалась бы выздоровлением.

Все эти приспособительные реакции, ярко проявляющиеся только при заболеваниях, вырабатывались в организме человека тысячелетиями во взаимодействии с внешней средой, в борьбе за существование. К числу таких приобретенных в процессе эволюции средств приспособления к болезнетворным влияниям принадлежит и способность организма человека реагировать на действие многих раздражителей — микробов и их ядов, на повреждения тканей самого организма, в том числе временным повышением температуры тела. Повышение температуры ускоряет течение химических реакций, лежащих в основе процессов обмена веществ в клетках. Это создает в свою очередь более благоприятные условия для преодоления болезни, так как повышается деятельность клеток и органов, выполняющих защитные функции в организме.

Если это так, и сама лихорадка — не болезнь, а одна из защитных реакций большого организма, почему же все-таки врачи добиваются снижения температуры, применяя различные средства? Почему при снижении температуры чаще всего заметно улучшается самочувствие больного?

Дело в том, что снижение температуры тела в подобных случаях — отнюдь не причина наступившего улучшения в течении болезни, а его следствие. В это время, как правило, стихают и другие, скрытые от поверхностного наблюдения патологические нарушения и реакции. Падение же температуры служит лишь самым ярким и заметным симптомом перехода к выздоровлению. А бывает иногда и наоборот: снижение температуры в ходе болезни совпадает с таким моментом, когда значительно иссякают защитные силы организма, и тогда оно становится грозным симптомом. Это случается, например, при токсической форме дифтерии.

В клетках большинства бактерий содержатся различные соединения жироподобных веществ, так называемые липополисахаридные комплексы (от греческого слова «липос» — жир) и разнообразные группы белковых молекул. Именно эти соединения и придают бактериям характерные для данного вида свойства. Путем расщепления и разрушения белковых частей клетки, в результате длительной очистки удается выделить липополисахаридные комплексы в относительно чистом виде. Многочисленные исследования показали, что эти соединения почти не обладают первоначальными токсическими свойствами, но, введенные в организм в ничтожных дозах, они вызывают лихорадку. Такие препараты получили название очищенных пирогенов. И что особенно важно, эти препараты обладают рядом других ценных свойств. Вызывая раздражение теплорегулирующих центров в головном мозге и в связи с этим кратковременный приступ лихорадки, очищенные пирогены стимулируют в организме функции различных органов. Например, в крови возрастает количество гормонов гипофиза, имеющих большое значение для регулирования обмена веществ в клетках. Усиливается деятельность и других желез внутренней секреции и особенно коркового вещества надпочечников. Эти реакции играют важную роль, так как повышают сопротивляемость организма.

Кроме того, пирогены увеличивают проницаемость мозгового барьера, препятствующего переходу из крови в мозг

защитных антител, увеличивают количество лейкоцитов в крови и усиливают их способность обезвреживать микробы и продукты их распада. Пирогены снижают также кислотность желудочного сока, увеличивают кровообращение в почках и печени, что создает более благоприятные условия для функции этих органов.

Особенно важной в практическом отношении оказалась способность пирогенов в какой-то мере усиливать восстановительные процессы в нервной, мышечной и отчасти в других тканях организма. Одновременно с этим они препятствуют образованию плотной, грубой рубцовой ткани на месте повреждения, что в свою очередь облегчает восстановление нервных и мышечных волокон. Более того, под действием пирогенных препаратов в некоторых случаях становятся более мягкими и даже частично рассасываются старые рубцы, нарушающие функции тех или иных органов.

Как показали наблюдения, подобные сдвиги в организме появляются при введении очень малых доз пирогенов, которые еще не вызывают лихорадки. Повышение температуры тела лишь усиливает действие этих веществ.

Приведенный здесь далеко не полный перечень сдвигов, вызываемых бактериальными пирогенами в организме, делает в известной мере понятным их применение при лечении ряда столь сходных между собой болезней.

Конечно, пиротерапия — не панацея. Она отнюдь не может заменить всего многообразия существующих приемов специфического лечения различных болезней. В одних случаях она может лишь усилить эти приемы, а в других — воздействовать на такие восстановительные процессы в организме больного, которые пока не удается стимулировать другими способами.

Особенно резко повышается температура тела во время некоторых болезней. И тут химический состав крови играет видную роль. Дело в том, что при инфекционных заболеваниях в нашем теле происходит усиленный распад как клеток и тканей нашего тела, так и напавших на него болезнетворных микробов. Образуются ядовитые вещества, которые, наводняя кровь больного, разносятся ею по всем органам и тканям тела. Попадают они и в головной мозг, в котором есть специальный центр, поддерживающий температуру тела на одном уровне. Доставленные кровью ядовитые вещества — их называют пирогенными

(от греческого «пиррос» — огонь) — раздражают этот центр, нарушают его деятельность, и температура нашего тела «скачет».

Однако повышение температуры — не всегда самый грозный признак заболевания. Наоборот, это обычно свидетельствует, что защитные силы организма энергично борются с вторгшейся в организм инфекцией. Особенно коварным оказывается заболевание, на которое организм человека не отвечает повышением температуры. Кто из нас не слышал о «бестемпературном» гриппе. Врачи очень не любят, когда болезнь, обычно сопровождающаяся высокой температурой, протекает без ее повышения. Это тревожный сигнал о том, что организм не способен оказать должного сопротивления болезни.

Состав крови нормального, здорового организма довольно постоянен. Конечно, постоянство это относительно, и колебания в содержании некоторых веществ довольно большие¹. Но современная биохимия уже накопила проверенные данные, которые можно считать химическими нормативами крови. Они позволяют в известной степени судить о том, как протекают химические реакции обмена веществ в здоровом организме. А так как почти все заболевания человека являются следствием нарушений обмена веществ, то изменение содержания и активности той или иной химической составной части крови позволяет врачу судить о характере заболевания, установить его, предсказать исход, судить об эффективности разных видов лечения.

О содержании в крови различных веществ, например сахаров, чаще всего судят на основании химического анализа: при помощи специальных реактивов, дающих с сахарами цветные реакции, определяется сначала их присутствие в крови, затем проводят количественный учет. Результаты такого анализа выражают в весовых единицах, например в миллиграммах на 100 г (мл) крови, сыворотки или плазмы крови (эту единицу измерения обозначают мг%).

Но в ряде случаев присутствие определенного химического вещества открывают по специфическому действию, как говорят физиологи, — по его активности. Например, о

¹ Немалую роль при этом играют возраст, прием пищи (обычно химизм крови исследуют натощак) и такие состояния, как беременность.

присутствии и количестве ферментов в крови (в жидкости или ткани организма) судят по силе производимого ими действия. По активности фермента можно вести и учет его количества.

Рассмотрим отдельные группы входящих в кровь веществ. Обратим внимание в первую очередь на белки, составляющие важнейшую и неотъемлемую часть всякой живой ткани, в том числе и крови.

Белки — первые среди равных

Изучение химических веществ начинается с их получения в химически чистом виде. Первые белковые вещества были выделены почти 300 лет тому назад. Однако в те далекие времена никто не подозревал, какое значение имеют белки для живого организма. Мысль о жизненно важном значении белков возникла значительно позже. К этому времени было известно уже много различных белков. В первой половине XIX в. голландский химик Мульдер предположил, что все белки состоят из одного и того же азотистого вещества, другими словами, что нет многообразия белков, а есть единый первичный белок, который он и назвал протейном (от греческого слова — «протос» — первый, главный).

Бурное развитие науки о белках изменило содержание, которое Мульдер вкладывал в это слово, но сам термин сохранился. Мы и теперь называем белки протейнами, но не потому, что существует какой-то первичный, единый, белок. Белков великое множество, но они являются самыми важными для жизни, и в этом смысле главными.

В крови белки — самые важные составные части. К ним относится гемоглобин крови, который содержится в эритроцитах у всех позвоночных животных и человека. Кровь здорового человека содержит от 13 до 16% гемоглобина. Цифра эта многим читателям может показаться странной, так как в анализах крови обычно указывается: содержание гемоглобина 65—80%. Но дело в том, что в медицинской практике за 100 обычно принимают содержание гемоглобина, равное 16,7 г в 100 мл крови. Обычно в крови здорового взрослого человека содержится несколько меньше гемоглобина — не 100, а 60—80%. Следовательно, заключение лаборатории «гемоглобина — 80%» (правильнее отмечать — 80 единиц) означает, что кровь содер-

жит 80% от 16,7 г, т. е. около 13,4 г гемоглобина в 100 мл крови.

У женщин и детей до 10 лет уровень гемоглобина в крови несколько ниже. Впрочем, даже у одного и того же человека содержание гемоглобина в крови может меняться на протяжении суток: утром кровь немного богаче этим пигментом, чем вечером. Недаром врачи так тщательно следят за содержанием гемоглобина в крови. Жизнь человека без дыхания невозможна, а гемоглобин выполняет роль переносчика кислорода из легких в ткани и участвует в переносе углекислого газа из тканей в легкие, поэтому он получил название дыхательного пигмента.

Конечно, кровь может переносить кислород просто в растворенном виде, не связав его с гемоглобином, но в таких небольших количествах, что ткани просто задохнулись бы от недостатка кислорода. Поэтому очень важно поддерживать уровень гемоглобина в крови на должной высоте.

Гемоглобин легко соединяется с кислородом, образуя непрочное соединение — оксигемоглобин, который также легко отдает этот кислород. К сожалению, гемоглобин «перезборчив» в своих связях. Так, например, он очень прочно (прочнее, чем с кислородом) связывается с окисью углерода — угарным газом. Если человек вдыхает большие количества этого газа, гемоглобин оказывается связанным, его уже не хватает, чтобы обеспечить организм нормальным количеством жизненно необходимого кислорода.

Оксид углерода содержится в горючем газе, широко применяемом в быту. Это и определяет возможность отравления газом при неправильном пользовании. Повышенное содержание окиси углерода в бытовом газе тоже грозит тяжелыми последствиями. В Риме только за 1960 г. отмечено несколько десятков случаев гибели иногда целых семейств только из-за того, что фирма, захватившая в свои руки снабжение газом, не пожелала произвести мизерные затраты на приспособления, снижающие содержание окиси углерода в бытовом газе, и тем самым уменьшить его ядовитость. «Молчаливая смерть» — окрестили итальянцы несчастные случаи с людьми, подвергшимися действию такого газа.

Итак, роль гемоглобина крови исключительно велика. Изменения в количественном содержании гемоглобина при его строении, конечно, не безразличны для здоровья.

Уменьшение количества гемоглобина характерно для анемии — малокровия. Оно может быть следствием значительной потери крови или недостаточного образования гемоглобина в организме. Важным признаком некоторых заболеваний служит выход гемоглобина из эритроцитов в плазму крови (гемоглобинемия). Что же предпринять, если в крови гемоглобина недостаточно?

Имеется много способов, которые может указать врач. Пожалуй, самый популярный из них — поездка в горы. Оказывается, в разреженной атмосфере скорость образования гемоглобина резко повышается. Это легко понять: когда организм начинает испытывать недостаток кислорода (а в разреженном воздухе его мало), наше тело мобилизует все возможности, чтобы компенсировать эту недостачу, и производит больше гемоглобина.

Однако на слишком больших высотах, где воздух разрежен, у большинства нетренированных людей могут появиться признаки «горной болезни» — одышка, головокружение, слабость и т. д. Поэтому «добывать» гемоглобин целесообразно на высотах 1000—1500 м над уровнем моря. Гемоглобин повышается в этих условиях хотя и более медленным темпом, зато не в ущерб здоровью.

Изменения в содержании гемоглобина при подъеме в горы — наглядный пример того, как химизм крови приспособляется к новым, непривычным для нашего организма условиям.

Гемоглобин содержится только в эритроцитах крови. Поэтому количество его зависит от числа эритроцитов. Однако эритроциты при различных обстоятельствах могут быть беднее или богаче гемоглобином. Когда в силу определенных причин образование эритроцитов в нашем теле (они образуются в костном мозге) принимает «авралный» характер, например после потери крови, может появиться «некачественная продукция»: костный мозг выбрасывает в кровь обедненные гемоглобином эритроциты. Поэтому врачи не довольствуются определенным содержанием гемоглобина. Они учитывают и степень насыщенности отдельных эритроцитов этим пигментом, пользуясь так называемым цветным показателем. У вполне здоровых людей этот показатель бывает равен единице.

Установлено, что потеря небольших количеств крови (не свыше 450 г) не приносит здоровью человека никакого

вреда. Процессы кроветворения и кроворазрушения в организме хорошо сбалансированы. Проходят всего сутки после взятия крови, и в кровеносной системе донора уже восстанавливается общее количество крови за счет тех ее запасов, которые хранились в депо — в печени и селезенке, а также за счет межтканевой жидкости, перешедшей в кровеносные сосуды.

Медленней восстанавливается состав крови. Вместе с кровью при кровопускании уходят ее живые клетки — эритроциты, лейкоциты, тромбоциты. Кроме того, потеря крови вызывает гибель части эритроцитов, оставшихся в кровяном русле донора. С этим связано и падение гемоглобина. Но вот костный мозг начинает усиленно работать; лабораторные анализы показывают, что в крови появилось много молодых красных кровяных телец — ретикулоцитов. Постепенно они превращаются в зрелые эритроциты. Процесс заканчивается в разные сроки — от 14 до 25 дней — в зависимости от количества взятой у донора крови. Эти данные помогли установить правильную дозировку и сроки взятия крови у доноров.

Принято считать, что причиной смерти при большой потере крови является кислородное голодание. Это как будто логично: в кровяном русле уменьшается количество эритроцитов — переносчиков кислорода. На самом же деле в большинстве случаев смерть наступит вследствие резкого падения кровяного давления в сосудах. В результате жизненно важные органы плохо снабжаются кровью. Достаточно поддержать на необходимом уровне давление крови — и человек будет спасен. Ведь костный мозг начинает усиленно работать, а он порождает каждую секунду 10 млн. эритроцитов. В таких случаях достаточно ввести в сосуды раненого плазму крови или кровезаменитель — жидкость, которая восстанавливает общую массу крови, и давление повышается. Ныне создано немало таких препаратов: коллоидный инфузин, поливинил, пирролидон, полиглюкин и др.

Какова дальнейшая судьба крови, перелитой человеку? Когда эритроцит разрушается в кровяном русле, он распадается на белковую часть — глобин и на красящее вещество — гем. От молекулы гема отделяется окись железа. Организм не может синтезировать железо: получает его с пищей. А ведь железо нужно для построения новых молекул гемоглобина. Поэтому организм обходится с

этим элементом очень экономно и возвращает его клеткам костного мозга. От гема остается еще желчный пигмент билирубин. Часть пигмента выводится из организма, часть снова поступает в кровь. По количеству билирубина можно судить о судьбе эритроцитов в организме.

Когда кровь свертывается

Свертывание крови — сложный процесс, протекающий пофазно.

В первой фазе идет выделение из кровяных пластинок (один из видов клеток крови), обладающих способностью склеиваться друг с другом и образовывать тромбы, или тромбопластины (от греческих слов «тромбос» — ком, или сгусток, и «пластин» — создаю, образую). Тромбы образуются в кровяном русле в силу каких-либо болезненных причин, когда усиливается способность кровяных пластинок склеиваться. Вторая фаза — превращение протромбина (всегда присутствующее в крови белковое вещество) под воздействием выделившегося тромбопластина в активный фермент — тромбин. В третьей фазе идет процесс свертывания крови: происходит превращение растворенного в крови белка фибриногена в нерастворимый фибрин под влиянием тромбина. Из нитей и сгустков фибрина создается основа тромба, закупоривающего сосуд.

В крови, как правило, готового тромбина нет. У здорового человека в ответ на появление небольших количеств тромбина сразу возникает защитная реакция. С помощью специального рефлекса организм защищает себя от тромбина: в кровь поступают противосвертывающие вещества — гепарин и др. Больше всего гепарина в тканях печени и легких (от греческого слова «гепар» — печень).

Пока в организме сохраняется противосвертывающий рефлекс, небольшие количества тромбина не вызывают свертывания крови. При атеросклерозе, характеризующемся, как известно, изменением стенок сосудов, чувствительность к тромбину нередко снижена. Вследствие этого защитный рефлекс не возникает. Противосвертывающие вещества не выделяются, возможность образования тромбов увеличивается.

Мы рассказали о процессе свертывания крови в общих чертах, но в этом процессе участвуют и другие факторы, как, например, атеросклеротическое изменение сосудов,

ослабление сердечной деятельности и связанное с этим замедление тока крови. Однако при установлении интенсивности процесса свертывания крови в лабораторных, как правило, исследуется только протромбин. Это объясняется тем, что одного этого показателя достаточно, чтобы судить об интенсивности процесса свертывания крови.

Если протромбина в крови мало, врачи назначают витамин К, улучшающий свертываемость крови. В случае же повышенных количеств протромбина применяются специальные вещества, так называемые антикоагулянты — гепарин, дикумарин, неодикумарин, пелентан, фенилин, фибринолизин. Однако применение антикоагулянтов без указания и наблюдения врача недопустимо. Оно требует повторных анализов крови на содержание протромбина, так как при резком его снижении могут возникнуть серьезные кровотечения, ранние признаки которых устанавливаются по появлению красных кровяных шариков — эритроцитов — в моче.

Антикоагулянты кроме основного своего действия — влияния на свертываемость крови — уменьшают боли в области сердца при инфаркте. Антикоагулянты предупреждают приступы стенокардии после инфаркта и возможность повторения инфаркта.

Белки плазмы — надежные свидетели

Большое значение имеют белки кровяной плазмы. Известно более 100 различных белков плазмы, но выделено пока не более 30. Естественно, что сыворотка содержит те же белки, кроме фибриногена, выпадающего в осадок при свертывании крови. Большая часть этих белков синтезируется в печени.

Белки плазмы влияют на водный обмен между кровью и тканями тела: как только содержание их в плазме уменьшается, вода переходит из кровеносных сосудов в ткани (обычно стенки сосудов почти непроницаемы для крупных частиц белка).

Белки плазмы принимают участие в обмене белков всего организма. Они представляют собой своего рода исходный материал для построения специфических белков различных тканей. Они поддерживают нормальное кровяное давление, обеспечивают однородность крови как жидкости,

защищают организм от вредных бактерий и других «чужеродных» веществ.

Белки, содержащиеся в плазме, как зеркало отражают состояние всего белкового «хозяйства» организма. Теряет ли организм большие количества белков (при кровотечениях, ожогах, лихорадочных состояниях), получает ли их извне в недостаточном количестве (потеря аппетита, расстройство кишечника, голодание) или, наконец, утрачивает ли способность синтезировать (при болезнях печени, почек и др.) — содержание белков в плазме крови уменьшается, и это нетрудно обнаружить при анализе. Врачи говорят в таком случае о гипопротемии, которая является показателем многих болезненных состояний. Можно считать, что уменьшение общего количества сывороточных белков на 1 г свидетельствует о потере организмом около 30 г тканевых белков.

Гораздо реже встречается повышенное содержание белков в плазме — гиперпротемия, которая тоже отражает изменения, происходящие в тканях организма уже при других болезнях.

За последние годы медицина не довольствуется определением только общего количества белков плазмы, она делает успешные попытки заглянуть глубже, познакомиться с качественным составом этих белков.

Химики давно уже сомневались в однородности белков плазмы. Ведь и о многих других белках, считавшихся ранее однородными, стало известно, что они состоят из разных белков. Так, яичный белок (давший свое название всем белкам) оказался не «индивидуальным» веществом, а смесью, в которую входят не менее десяти различных белков. В состав белка молока, сыра, творога, называемого казеином, тоже входит не менее четырех различных белков.

Для разделения белков, в том числе и белков плазмы крови, пользуются электрофорезом. Метод основан на том, что молекулы белков в растворе несут электрические заряды. Если через этот раствор пропускать электрический ток, поместив в него электроды, то молекулы в соответствии со своими зарядами будут двигаться к электродам.

Представим себе скачки: лошади несутся по полю, сначала все вместе, затем постепенно растягиваются, и к финишу раньше прибывает та, которая развила наибольшую скорость. Электрофорез — такие же своеобразные скачки молекул. Под действием электрического тока молекулы

различных белков перемещаются с различной скоростью. Пользуясь этим, можно разделять смесь белков на отдельные фракции.

Известно несколько электрофоретических фракций белков кровяной плазмы. Они получили название альбуминов и глобулинов, причем различают еще альфа-, бета- и гамма-глобулины. Фибриноген — белок, обуславливающий свертывание крови, — также относится к глобулинам. Таким образом, были исследованы белки крови почти всех животных, причем различия в электрофоретических фракциях оказались настолько характерными, что, пользуясь ими, можно даже установить вид животного, от которого была взята кровь.

Очень важно и то обстоятельство, что электрофоретические фракции белков крови хорошо отражают изменения в состоянии животного организма, работе его органов, обмене веществ и т. д. Отсюда понятно, почему белковые фракции сыворотки крови животных, побывавших в космосе, представляют значительный интерес для науки.

Изучение фракций белков плазмы крови позволяет врачу уточнить характер болезни и следить за ее развитием. Так, например, повышение содержания альфа-глобулинов у больного туберкулезом позволяет обнаружить очередную вспышку процесса. Для некоторых болезней почек очень характерно повышение содержания альфа- и бета-глобулинов при одновременном снижении количества гамма-глобулинов и альбуминов. Изменение фракций белков крови особенно важно при болезнях печени, так как позволяет определить болезнь и характер лечения.

При некоторых заболеваниях в крови появляются (иногда в значительных количествах) совершенно особые белки, характерные для определенной болезни, например миеломный белок при миеломе (опухоль костного мозга) и др. Изучение белковых фракций сыворотки крови позволяет также судить о работе многих органов тела и прежде всего о защитных силах организма. Когда в нашу кровь попадают чужеродные крупные молекулы, белковые, реже полисахаридные, кровь тотчас же переходит на «осадное» положение: мобилизуются все химические ресурсы для борьбы с такими пришельцами — «антигенами»¹.

¹ Антигенными свойствами обладают все белки, а также некоторые полисахариды и вещества смешанной природы. Антигенами могут быть жи-

Защищая организм от нашествия антигенов, кровь вырабатывает особые белковые тела — антитела (противотела), которые нападают на «пришельцев» и обезвреживают их, вступая с ними в реакции самого различного характера. Но иногда такие реакции протекают настолько бурно, что вызывают гибель организма. Это может произойти, например, если в кровь человека неоднократно вводится чужеродная кровь или сыворотка. В этом случае может возникнуть так называемый анафилактический шок (от греческого «ана» — против и «филаксис» — защита). Опасность шока всегда строго учитывается при переливаниях крови и введении лечебных сывороток.

Чаще же реакции антител с антигенами вызывают повышение температуры, различные воспалительные явления (аллергические), но зато в результате антигены быстро блокируются и обезвреживаются.

Так или иначе антитела — хорошие защитники нашего организма. Все антитела — белки, относящиеся к группе глобулинов, главным образом гамма-глобулинов. Поэтому гамма-глобулины нашли сейчас широкое применение как лечебные препараты, укрепляющие защитные силы организма.

Интересно отметить, что в силу своей белковой природы антитела для чужой крови сами являются антигенами и вызывают в ней появление соответствующих антител. После того как в кровь попал антиген, новообразованное антитело (их синтез происходит в лимфатических клетках организма) идет постепенно, но с необычайной щедростью: на каждую молекулу антигена приходится десятки и сотни тысяч молекул антитела.

Антитела — белки, и, если белковые запасы организма истощены (например, при недостаточном и неполноценном питании), наше тело уже не в состоянии отвечать на раздражение антигеном обильным образованием антител. Вот почему инфекционное заболевание, связанное с внедрением в организм болезнетворных бактерий — антигенов, обычно сопровождается высокой температурой, иногда протекает без ее повышения.

Из всего сказанного ясно, что изучение антител и количественное определение их в сыворотке крови большого при-

вые тела (например, болезнетворные бактерии) и определенные химические вещества, находящиеся в растворенном состоянии.

обретает все большее и большее значение в медицине. Если глобулины кровяной сыворотки принимают участие в защите организма в качестве антител, то защитная роль сывороточных альбуминов выражается в их способности связывать ядовитые вещества — токсины.

Некоторые глобулины тоже обладают антитоксическими свойствами: они обезвреживают токсины, выделяемые возбудителями дифтерии, столбняка и других грозных врагов человека.

В настоящее время многие антитоксины получают из крови специально подготовленных животных. Их применяют для борьбы с различными болезнетворными микробами. Достаточно напомнить о противодифтерийной сыворотке или о антитоксических сыворотках против различных ядов, например змеяного.

Ученым давно уже известна способность сыворотки крови убивать бактерии и обезвреживать вирусы. В этом отношении особенно активен открытый недавно белок — пропердин, который также входит в состав глобулиновой фракции белков сыворотки крови. Различные фракции белков крови представляют значительный интерес и потому, что к ним относятся многие ферменты, — пожалуй, самые важные вещества нашего тела. Но о ферментах крови мы подробно расскажем ниже.

В последнее время внимание ученых привлекли некоторые сложные белки крови, в состав которых кроме аминокислот входят еще и другие безазотистые вещества, например сахара или их производные. Такие белки называют гликопротеидами. Хотя все они играют важную роль в организме, наибольший интерес вызывает содержащийся в сыворотке крови мукоид. Внимание врачей привлекло то, что количество этого вещества в крови меняется при различных состояниях организма и в связи с этим его содержание в крови может служить диагностическим признаком.

Изменения в содержании сывороточного мукоида изучались нашими учеными у подопытных животных, совершивших знаменитое путешествие на борту второго корабля-спутника.

Липопротеиды — сложные соединения белков с жироподобными веществами липоидами — в последние годы также интересуют врачей как показатели некоторых болезненных состояний организма. Соединяясь с нераство-

рымыми в воде липоидами, белки делают их растворимыми и облегчают перенос липоидов током крови. Такого рода транспортные функции выполняются и другими белками, переносящими железо, цинк, медь и другие вещества.

«Разносчики» азота

Если из плазмы или сыворотки крови удалить белки, то в растворе останется большое количество веществ небелковой природы, содержащих необходимый для построения азот. Их объединяют обычно в группу азотсодержащих небелковых веществ.

Среди них прежде всего должны быть названы аминокислоты. Аминокислоты, которые еще не «встроены» в частицу белка, называют свободными. Они попадают в кровь главным образом из кишечника, где образуются в результате расщепления пищевых белков соответствующими ферментами.

Кровь разносит свободные аминокислоты по всем органам и тканям, использующим эти вещества для построения собственных белков и для других превращений. Эти же органы и ткани отдают в кровь те свободные аминокислоты, которые образуются при распаде тканевых белков. Таким образом, кровь постоянно транспортирует аминокислоты, и содержание их в крови поддерживается обычно на относительно постоянном уровне. При этом большая часть аминокислот содержится в красных кровяных тельцах — эритроцитах, меньшая — в жидкой части крови — плазме.

Содержание аминокислот в крови принято выражать в мг% так называемого аминокислота. В норме эритроциты содержат около 10 мг%, а плазма — около 6 мг% аминокислота.

Зная нормальный уровень аминокислот в крови, можно следить за его изменениями, а это говорит врачу о многом. Прежде всего эти данные позволяют судить о работоспособности печени и почек. Печень — это главная химическая лаборатория нашего тела. Кровь доставляет в нее аминокислоты из кишечника. Из этих «пищевых» аминокислот печень строит белки не только для себя, но и для той же самой крови.

Часть этих аминокислот печень подвергает различным превращениям, например отнимает содержащую азот ами-

ногруппу (дезаминирует), а азот использует для построения конечного продукта обмена белков мочевысы. Кровь доставляет ее к почкам, которые выводят мочевину с мочой наружу.

Теперь понятно, почему содержание аминокислот в крови позволяет судить о работе печени и почек. Нужно ли добавлять, что при всех заболеваниях, связанных с повышенным распадом белков (лихорадочные состояния, истощение, рак и др.), кровь как бы наводняется продуктами этого распада — аминокислотами. Повышение общего количества аминокислот в крови называют гипераминоацидемией.

Врача интересует, конечно, не только общее количество аминокислот в крови, но и их состав. В состав белков нашего тела входит более 20 разных аминокислот, и все они, как правило, присутствуют в крови. Трудно сказать, какие из этих аминокислот поступили из белков пищи, какие образовались при распаде белков в тканях нашего тела. Отметим только, что почти одна треть общего количества аминокислот плазмы падает на долю так называемой глутаминовой кислоты, а это, пожалуй, самая важная из всех аминокислот.

Эта «первая среди равных» аминокислот занимает центральное положение в обмене азотистых веществ в организме. В печени она образуется раньше и быстрее остальных аминокислот и выполняет в организме самые разнообразные функции. Особую роль глутаминовая кислота играет в обмене веществ мозга. Достаточно сказать, что эта кислота — единственное вещество (помимо глюкозы — источника необходимой энергии), которое интенсивно окисляется ферментами мозга. Кроме того, эта аминокислота обладает замечательной способностью связывать и обезвреживать аммиак, являющийся сильным ядом для нервной ткани.

Немаловажную роль в нашем теле играют и другие аминокислоты. Большое значение при этом имеет их количественное соотношение в крови. Новейшие методы (хроматографический и др.) дают возможность определять раздельно все аминокислоты крови, и этим с успехом пользуются врачи-клиницисты. Особенно ценные результаты они получают, сопоставляя содержание различных аминокислот в крови и в моче, так как химический состав мочи отражает даже небольшие сдвиги в химизме крови.

Около половины всех небелковых азотистых веществ крови составляет мочевина. Как мы уже говорили, она образуется в основном в печени, откуда поступает в кровь. Последняя разносит мочевину в ткани и выводит ее из организма главным образом через почки (значительно меньше — с потом).

Нормальная кровь содержит от 1 до 20 мг% азота мочевины. (Этот анализ проводят натощак, так как после приема белковой пищи уровень мочевины в крови может резко повыситься.) Если повышенное содержание мочевины в крови держится длительное время, это грозный признак, чаще всего свидетельствующий о плохой выделительной работе почек. Причиной увеличения мочевины в крови может служить и повышенный распад тканевых белков (при раке, малокровии, болезнях сердца и др.). Собственно говоря, сама мочевина довольно безвредна; но повышение ее содержания в крови сопровождается накоплением других ядовитых продуктов обмена. Поэтому уремия (от латинского «уреа» — мочевина), правильное гиперуремия, настораживает врача в его борьбе за жизнь больного.

Для правильного лечения больных подагрой и ревматизмом немалое значение имеет определение в крови другого азотистого вещества — мочевой кислоты. Нормальная кровь не богата этой кислотой (около 3 мг%), но при подагре, особенно перед приступом боли, содержание мочевой кислоты в крови может удвоиться.

Кровь содержит небольшие количества еще нескольких азотистых веществ. Среди них упомянем креатин и креатинин, повышенное содержание которых может свидетельствовать о слабой работе печени; желчный пигмент — билирубин, увеличение которого свидетельствует о болезни печени (желтуха) и о повышенном распаде гемоглобина; очень небольшие количества аммиака, так как это ядовитое вещество, образующееся в тканях, например, при работе мышц, обычно обезвреживается там же (незначительные количества аммиака поступают в кровь из кишечника). При ущемлении в кишечнике гнилостных процессов в кровь поступают повышенные количества индикана и индоксила, которые можно рассматривать как обломки молекулы одной из аминокислот — триптофана.

Проводить количественное определение азотистых веществ в крови трудно, поэтому на практике нередко довольствуются определением так называемого остаточного

азота, т. е. азота всех небелковых веществ крови (правильнее называть его небелковым азотом).

В норме кровь содержит 25—35 мг% остаточного азота. Содержание его может увеличиваться при болезнях сердца, отравлениях и некоторых инфекционных болезнях.

В состав крови входят еще несколько азотистых соединений, из которых каждое важно по-своему. Наиболее важное из них — лецитин, по о нем мы расскажем там, где будет идти речь о липидах, к группе которых относится это азотистое вещество.

Сахарный барометр

Из нескольких углеводов, присутствующих в крови, наибольшее внимание медиков привлекает виноградный сахар — глюкоза. Достаточно сказать, что если в норме содержание глюкозы в крови составляет около 100 мг%, то при сахарной болезни это количество может увеличиться до 600 мг%. Определение сахара в крови при этом заболевании имеет огромное значение: оно позволяет установить заболевание даже тогда, когда человек чувствует себя здоровым, дает возможность контролировать состояние больного во время лечения, помогает предсказать ход заболевания.

Уровень глюкозы в крови — гликемия — может значительно, но кратковременно меняться и в обычных физиологических условиях. Достаточно принять с пищей большое количество сахара (больше 100 г), и содержание глюкозы в крови не только повысится (гипергликемия), но и перейдет в мочу (глюкозурия).

Если вы болельщик, то знайте, что во время матча команд «Спартак» и «Динамо» не только у вас, но и у тысяч других зрителей содержание глюкозы в крови подскакивает далеко за пределы нормы. И только у равнодушных наблюдателей (найдутся ли такие на стадионе?) оно останется без заметных изменений. Таким образом, и возбуждение нервной системы может повысить уровень сахара в крови. То же явление можно наблюдать при усиленной мышечной работе. Но во всех этих случаях гипергликемия носит скоропреходящий характер.

При сахарной и ряде других болезней гипергликемия длится долго, и ее колебания позволяют следить за состоянием больного. Определение сахара в крови даст более

надежные цифры для суждения о ходе болезни, чем определение сахара в моче. Особенно наглядные результаты получаются, если больному дать 50—100 г глюкозы, а затем определять содержание ее в крови через определенные промежутки времени. Результаты, полученные после такой сахарной нагрузки, выражают в виде кривой, характер которой многое может сказать врачу. Очень часто вместо глюкозы дают нагрузку другими сахарами — фруктозой, галактозой, что позволяет оценить работу печени. (Эти сахара потребляются почти исключительно печенью.)

Все эти «сахарные пробы», или сахарные кривые, — излюбленный метод биохимического исследования в клиниках всех специальностей, но особенно терапевтических. Они применяются для изучения углеводного обмена и переносимости (толерантности) к углеводам.

У здорового человека максимальный подъем сахарной кривой наблюдается через 30 мин. после приема глюкозы. В моче сахар совсем не появляется или появляется на короткое время в период наибольшего подъема уровня сахара в крови. «Порог выделения» равен 160—180 мг%. Через 2—2,5 часа сахарная кривая снижается до нормы.

В почечных каплях происходит всасывание глюкозы «обратно» в кровь. При нарушении этого всасывания глюкозы в почечных канальцах сахар выделяется с мочой при более низком содержании его в крови. Сахарная кривая в этом случае может не отличаться от кривой здорового человека. Продолжительность глюкозурии при этом, однако, увеличена. Так обнаруживается почечный диабет.

При подозрении на сахарный диабет делают двойную сахарную нагрузку, которая заключается в том, что спустя полтора два часа после первого приема 50 г глюкозы больному дают вторично такую же порцию глюкозы. Если деятельность поджелудочной железы не нарушена, вторая порция глюкозы не вызывает вторичного повышения сахарной кривой. При недостаточности инсулярного аппарата после второй порции глюкозы происходит новый подъем кривой с очень медленным снижением.

Гораздо реже встречаются состояния гипогликемии — понижения нормального уровня сахара в крови. Бывают люди, подверженные внезапным обморокам и неопределенным болям. Если такие больные успевают вовремя принять кусок сахара, часто удается предотвратить обморок и успокоить боли. Определение сахара в крови позволяет устано-

вить у таких больных гипогликемию. Тяжелая гипогликемия — грозный признак некоторых заболеваний, к счастью встречающихся редко. Легкая гипогликемия — не ниже 60—70 мг% глюкозы в крови, встречается довольно часто и угрозы не представляет.

Каким же образом здоровый организм регулирует постоянство содержания сахара в крови и почему оно может нарушаться?

Еще в середине XIX в. известный французский физиолог Клод Бернар сделал ряд очень интересных опытов. Ученый установил, что укол в один из участков мозга кролика вызывает у животного интенсивный переход гликогена — животного крахмала, накапливающегося в печени, в сахар, а вследствие этого уровень сахара в крови повышается. Оказалось, что «сахарный укол», как его называли впоследствии, вызывает переход гликогена в сахар двумя способами. Во-первых, непосредственным воздействием на клетки печени через первые волокна, а во-вторых, первичным возбуждением особых желез внутренней секреции — надпочечников, которые в этом случае начинают усиленно выделять в кровь гормон адреналина. Адреналин, поступив в печень с кровью, в свою очередь способствует превращению гликогена в сахар.

Инсулин — гормон поджелудочной железы — в противоположность адреналину, способствует превращению сахара крови в гликоген печени. Выделение инсулина и адреналина регулируется центральной нервной системой. Поэтому-то эмоциональное возбуждение, как правило, сопровождающееся усиленным выделением в кровь адреналина, ведет к повышению в ней уровня сахара.

Тщательные научные наблюдения показали, что из всех углеводов, содержащихся в пище, только моносахариды (т. е. простые сахара) быстро всасываются из кишечника в кровь и, следовательно, сразу могут быть использованы организмом. Сложные сахара — дисахариды, а тем более полисахариды — должны предварительно подвергнуться расщеплению в пищеварительном аппарате. Только после того, как они распадутся на моносахариды, их могут использовать клетки организма.

Может быть, целесообразно питаться одними моносахаридами, например глюкозой? Такое предположение оказывается неверным. Установлено, что при избыточном количестве моносахаридов, съеденном в течение короткого

времени, организм человека не успевает их полностью использовать. Избыток моносахаридов окисляется, а выделяющееся при этом излишнее тепло бесполезно уходит в окружающее пространство.

Полисахариды же, поступающие с пищей, перевариваются медленнее, постепенно распадаясь в течение нескольких часов на молекулы моносахаридов и всасываясь в кровь, благодаря чему используются целиком. Из полисахаридов в небольшом количестве (5 мг%) в крови встречается гликоген, который сконцентрирован в лейкоцитах. Часть сахаров в крови связана с белками (гликопротеиды, о которых мы говорили выше).

Давно уже замечено, что атеросклероз — заболевание кровеносных сосудов, при котором на их стенках откладывается холестерин и сосуды становятся малоэластичными, хрупкими, — почему-то очень редко поражает жителей Италии, Греции и, как это ни странно, побережья Ледовитого океана. Оказалось, что невосприимчивость к атеросклерозу у этих народов вызвана общей причиной. Дело в том, что в качестве главного пищевого жира греки и итальянцы используют оливковое масло, а эскимосы — рыбий жир. И оливковое масло и рыбий жир содержат много ненасыщенных жирных кислот. Если постоянно употреблять их в пищу, то в крови человека резко уменьшается количество холестерина, а следовательно, ослабевает опасность атеросклероза. Каким образом ненасыщенные жиры связывают холестерин в крови, пока еще не установлено.

Высокий уровень холестерина в крови (особенно, если он держится длительное время) всегда настораживает врача. Очень важно при этом знать и уровень лецитина — фосфолипиды, содержащего азот, и соотношение между содержанием обоих этих веществ. Имеются все основания предполагать, что лецитин препятствует проникновению холестерина в стенки артерий и, следовательно, отложению в них. Вот почему людям, у которых появились симптомы атеросклероза, рекомендуется есть гречневую кашу, творог и другие продукты, богатые лецитином.

Но не только при атеросклерозе важно знать содержание холестерина в крови. Имеется немалый список болезней, сопровождающихся повышением или понижением уровня холестерина. Кроме того, около трети холестерина находится в крови в свободном состоянии, другая часть его связана с жирными кислотами (эфир холестерина).

Врачи всегда интересуются соотношением между свободным и связанным холестерином. Так, например, уменьшение доли связанного холестерина при некоторых болезнях печени (гепатите) заставляет врача призадуматься над судьбой больного.

Собственно говоря, и другие представители липидов крови могут многое рассказать врачу-клиницисту о той или иной болезни. Необходимо только помнить, что для крови характерно редкое постоянство некоторых липидов, особенно жиров: во-первых, отдельные липиды неравномерно распределены между эритроцитами и плазмой (определяют же их обычно в плазме крови); во-вторых, после приема жирной пищи кровь буквально наводняется жирами; и наконец, что особенно досадно, — нет самого главного — единого взгляда ученых на то, что можно считать нормой содержания липидов, особенно жиров. Есть серьезные исследователи, утверждающие, что 100 мл крови здорового человека могут содержать только 10 мг% жира, тогда как другие не менее солидные ученые считают, что нормальная кровь может содержать и более 200 мг% жира, т. е. в 20 раз больше.

Несмотря на это, можно с уверенностью сказать, что у хронических алкоголиков, при сахарной болезни и некоторых болезнях печени и почек, при беременности (не являющейся, конечно, болезнью), при отравлениях фосфором и другими ядами содержание жиров в крови, как правило, повышено, а при длительном голодании и аддисоновой (бронзовой) болезни — понижено. Другими словами, химический анализ крови на содержание в ней липидов может давать ценные указания врачу.

Кислоты в роли зеркала

Кровь содержит большое количество веществ, образующихся при обмене углеводов в тканях организма. Это главным образом органические кислоты: молочная, пировиноградная, лимонная, янтарная и др. Многие из них представляют значительный интерес для врача, отражая, как в зеркале, состояние организма.

В крови здорового человека содержится 10—20 мг% молочной кислоты. Однако достаточно ему заняться пилаткой или пробежаться на коньках, другими словами, интенсивно поработать, и цифра эта может подскочить до

100 мг%. Таким образом, уровень молочной кислоты — хороший показатель некоторых состояний человека, особенно когда организм ощущает острую нехватку кислорода (гипоксия). Если такой недостаток кислорода становится хроническим, например при некоторых болезнях сердца, содержание молочной кислоты оказывается постоянно повышенным, хотя и не в такой степени, как было указано выше.

По «поведению» молочной кислоты в крови можно в известной степени судить о тяжести заболевания сердца. В легких случаях уровень ее остается в пределах нормы, но после физической работы поднимается выше, чем у здоровых. При более тяжелых заболеваниях содержание молочной кислоты уже в покое превышает норму, и достаточно небольшого напряжения мышц, чтобы количество молочной кислоты «подскочило» до высоких цифр. Наконец, у тяжелых сердечных больных молочной кислоты в крови становится втрое больше, чем у здоровых, и при самых ничтожных движениях больного кровь буквально наводняется этой кислотой. Повышенное содержание молочной кислоты в крови наблюдается при раке и других болезнях. У беременных количество молочной кислоты обычно также увеличивается.

Поскольку восстановление гликогена из молочной кислоты осуществляется преимущественно в печени, увеличение содержания молочной кислоты в крови — лактацидемия — указывает в первую очередь на недостаточную функцию названного органа. При тяжелых формах диффузного поражения печеночной ткани, как, например, при циррозах, отравлениях и других заболеваниях, наблюдается иногда весьма значительное увеличение концентрации молочной кислоты в крови, достигающее до 45 мг%.

С молочной кислотой в крови связана пировиноградная кислота; количество ее в крови неотступно изменяется в зависимости от колебаний в содержании молочной кислоты. Врачи считают пировиноградную кислоту показателем недостаточности витамина В₁. Этот витамин — «специалист» по расщеплению виноградной кислоты, и когда его недостаточно, кислота накапливается в крови.

Диагностическое значение имеет и еще одна группа безазотистых веществ — кетоновые тела. К этой группе относится, например, всем нам известный по его характерному запаху ацетон. В крови здорового человека содержа-

ние кетоновых тел (кетонемия) бывает не выше 4 мг%. Но в случаях запущенной сахарной болезни эта цифра может увеличиться в несколько десятков раз. При этом кетоновые тела не только появляются в моче (кетонурия), но содержатся даже и в выдыхаемом больным воздухе. Поэтому характерный запах ацетона при дыхании больного нередко может помочь врачу определить сахарную болезнь.

Необходимые для жизни (витамины)

Содержание витаминов в крови здорового человека зависит в первую очередь от характера его питания, так как витамины мы получаем преимущественно с пищей. Но содержание различных витаминов может заметно изменяться при различных заболеваниях. На первом плане здесь стоят желудочно-кишечные болезни, при которых нарушается всасывание витаминов в кишечнике, а также отравления, лихорадочные состояния, малокровие, болезни печени, почек и других органов. Поэтому данные о содержании отдельных витаминов могут помочь врачу при оценке состояния больного. Этому помогает и то обстоятельство, что состав витаминов в крови здорового человека изучен хорошо, хотя содержание некоторых из них не отличается постоянством.

Из жирорастворимых витаминов в крови чаще всего определяют содержание витамина А и его провитамина — каротина. Превращение каротина в витамин А происходит в печени, поэтому болезни этого органа ведут к накоплению каротина в крови до уровней, значительно превышающих нормальное количество (норма 50—280 мкг%¹). Содержание самого витамина А повышается при болезнях почек и при сахарной болезни.

Из других витаминов врачи чаще всего обращают внимание на витамины группы В, особенно витамины В, РР (никотиновая кислота), В₁₂. Болезни нервной системы, печени, ожирение и другие заболевания часто сопровождаются снижением витамина В₁ в крови. При злокачественной анемии в крови снижается содержание и никотиновой кислоты (сосредоточенной в основном в эритроцитах) и особенно витамина В₁₂, который фактически исчисляется из крови.

¹ мкг — микрограмм, тысячная доля мг.

Наконец, широко распространено определение в крови и самого популярного витамина — витамина С (аскорбиновой кислоты). Колебания в количестве витамина С отражают качество питания организма и ряд болезненных отклонений в нем. Другие витамины определяются в крови реже. Большой вклад в развитие учения о витаминах внесли советские ученые Н. И. Лунин, Н. Д. Зелинский, А. В. Палладин, В. Н. Букин, Б. А. Кудряшов и др.

Ускорители превращений (ферменты)

Читателю уже известно, что ферменты — биологические катализаторы, обладающие способностью ускорять или замедлять течение различных химических реакций обмена веществ в организме¹.

На вооружении каждой клетки нашего тела (и любого живого существа) находится целый арсенал самых разнообразных ферментов, осуществляющих химические процессы обмена веществ в удивительной согласованности друг с другом. Болезнь, нарушающая нормальное течение этих процессов, ломает согласованность, изменяет деятельность ферментов. Естественно, что врачи давно уже проявляют интерес к изучению ферментов как показателей состояния организма.

Кровь сравнительно более доступна для химического анализа, чем другие ткани. Поэтому об изменении в работе ферментов судят в первую очередь по содержанию их в крови. В настоящее время ученые могут определять присутствие в плазме крови более 50 различных ферментов. Как ферменты попадают в плазму?

Клетки крови — эритроциты, лейкоциты, как и все другие клетки организма, имеют свой набор ферментов. Некоторые ферменты свойственны самой плазме, выполняют в ней определенную роль. Сюда относятся в первую очередь системы ферментов, принимающие участие в свертывании крови. Процесс этот не выяснен полностью, но установлено, что в нем принимают участие несколько ферментов. Присутствие в плазме некоторых других ферментов связано с тем, что кровь переносит питательные вещества, поступаю-

¹ Все ферменты — специфические белки. Мы выделяем их в особую группу только потому, что обычно о содержании ферментов в крови судят не по их количеству, а по активности.

ще из кишечника. Естественно, что в нее могут попасть и пищеварительные ферменты, выделяемые специальными железами в желудочно-кишечном канале. Понятно также, что при некоторых болезненных состояниях может иметь место перепроизводство ферментов или выход их из поврежденных клеток. Происхождение других ферментов, обнаруживаемых в плазме крови, пока еще не выяснено.

Однако в отношении большей части ферментов плазмы установлено, что колебания в их активности могут отражать соответствующие изменения в больных органах, и этим обстоятельством современная медицина пользуется с каждым годом все шире.

Активность многих ферментов при заболеваниях повышается или снижается чрезвычайно резко. Так, например, вместо единиц кислой фосфатазы в плазме крови больного раком предстательной железы находят около 50 единиц этого фермента! А у ребенка, больного рахитом, можно найти до 200 единиц щелочной фосфатазы, тогда как в плазме крови здорового ребенка ее содержится не более 10 тех же условных единиц. Активность других ферментов меняется в больном организме не так резко, но все же в достаточной степени, что помогает врачу разобраться в ходе заболевания. Так, некоторые болезни сопровождаются распадом эритроцитов и тогда содержащиеся в них ферменты переходят в жидкую часть крови — плазму. Поэтому при лихорадочных состояниях, некоторых формах малокровия (гемолитическая анемия), шокке и других заболеваниях врач может обнаружить в плазме крови повышенную активность некоторых ферментов, например, «внутриэритроцитного» фермента каталазы, разлагающей ядовитую для организма перекись водорода, или пептидазы — фермента, расщепляющего пептиды (соединения нескольких молекул аминокислоты). При болезнях поджелудочной железы (а иногда и печени) в плазме повышается активность амилазы — фермента, расщепляющего полисахариды — крахмал и др. Если нарушается целостность клеток, а это происходит при инфаркте миокарда, повреждениях мышц, некоторых видах рака и других болезнях, то работающий внутри клеток фермент лактикодегидраза попадает в плазму крови.

А вот другой фермент — трансаминаза — повышает свою активность в плазме не только при инфаркте миокарда, но и при болезнях печени. Это дает врачу возможность устано-

вить, какой из органов поражен в данном случае — сердце или печень. Есть ферменты, активность которых в плазме крови больного понижается при определенных заболеваниях (например, липаза при туберкулезе). Мы не будем перечислять остальные ферменты крови, определение которых помогает врачу установить природу болезни и способы борьбы с ней. Но один из них заслуживает особого внимания.

Нередко при определении общего физиологического состояния организма человека или животного учитывают холинэстеразную активность крови. Почему же фермент холинэстераза вызывает особый интерес?

В деятельности нервной системы организма человека и высших животных большую роль играет ацетилхолин — вещество, передающее нервное возбуждение. Передача нервами возбуждения связана с быстротой расщепления ацетилхолина, а также с быстротой его синтеза и освобождения из связанного состояния, в котором находится часть ацетилхолина, содержащегося в нервной ткани.

В настоящее время различают два фермента, участвующих в превращениях ацетилхолина, — ацетилхолинэстеразу, которая содержится в нервной ткани и в эритроцитах, и холинэстеразу, находящуюся в плазме крови и в печени. По активности этого фермента можно судить о деятельности печени, а это очень важно для суждения о состоянии всего организма.

Наряду с ферментами в крови могут содержаться и так называемые антиферменты¹. Назначение этих специфических веществ — защитить организм от разрушительного действия определенных ферментов (или регулировать их действие).

Так, например, сыворотка нашей крови содержит антитрипсин. Вспомним, что трипсин — фермент, способствующий перевариванию белков, он содержится в соке поджелудочной железы. Долгое время было загадкой — каким образом эта железа, клетки которой в основном состоят из белков, не подвергается самоперевариванию. Оказалось, что в ней вырабатывается антитрипсин, который связывает, лишает трипсин активности и тем самым предохраняет железу от переваривания. В кровь антитрипсин попадает,

¹ Об антиферментах см. подробнее: В. С. Толеур. Биологически активные вещества. М., «Знание», 1960.

вероятнее всего, из органов пищеварения, откуда ток крови просто захватывает и увлекает с собой некоторую часть антифермента. Это своего рода утечка части продукции из такой фабрики ферментов и антиферментов, какой является поджелудочная железа.

Таким образом, антиферменты — факторы естественной защиты организма. Для характеристики их роли приведем еще один пример. Известен фермент гиалуронидаза, свойственный многим бактериям. Он разрушает гиалуроновую кислоту — основное вещество, из которого построено межклеточное вещество многих тканей. Межклеточное же вещество является своеобразным барьером, преграждающим доступ в ткани не только вредных веществ, но и ряда питательных веществ и продуктов обмена. Проницаемость этого барьера может значительно меняться, что в основном зависит от состояния гиалуроновой кислоты. Гиалуронидаза разрушает гиалуроновую кислоту и этим способствует проникновению инфекции и ядовитых веществ из местного очага в глубь тканей организма. Антигиалуронидаза парализует бактериальную гиалуронидазу, что способствует защите организма от определенных микробов.

Некоторые ученые считают, что плазма крови содержит специальный фермент, разрушающий гиалуронидазу и таким образом защищающий организм от вторжения микробов. Такому ферменту даже дано название антиинвазина (от греческого «анти» — против и латинского «инвазио» — вторжение, нападение). Если антиинвазин существует, то он представляет собой специальный фактор естественной защиты организма. Его надо отличать от антигиалуронидазы — антифермента, относящегося к антителам плазмы крови, о которых уже упоминалось выше.

Итак, среди ферментов крови некоторые выполняют в плазме определенные функции, другие оказываются в ней, попав с током крови, оттекающей от различных органов. Немалую роль в переходе ферментов в плазму крови играет также величина молекулы фермента-белка. Частицы таких ферментов плазмы, как альфа-амилаза, рибонуклеаза, пепсиноген, отличаются сравнительно небольшими размерами, низким молекулярным весом. Ферменты с более крупной молекулой в плазме встречаются гораздо реже. Но наряду с этим в плазме крови отсутствует угольная ангидраза, хотя молекулярный вес ее относительно невелик. В нормальных условиях этот фермент содержится только

в эритроцитах крови, и переход его в плазму указывает на заболевание организма гемолитической анемией.

С другой стороны, в плазме встречаются ферменты (например, фосфатаза) с высоким молекулярным весом. Поэтому видеть причины появления в плазме не свойственных ей ферментов только в размерах их молекул было бы неправильно. Более закономерно появление в плазме крови ферментов, которые выделяются вместе с различными соками, например пищеварительными. Понятно, что такие ферменты легко могут попасть в плазму крови. Также попадают в кровь и те ферменты, которые не связаны со структурными образованиями внутри клетки и находятся обычно в клеточном соке. Впрочем, в плазму могут проникать и ферменты, связанные с мельчайшими плотными частичками клетки — микросомами. Если сравнить клетку с заводом или фабрикой (а для такого сравнения есть много оснований), то микросомы — это специализированные цехи по синтезу белка.

В патологических условиях бывают и другие причины появления ферментов или увеличения их содержания в плазме крови. Например, при нарушении в клетке нормального хода химических превращений в ней производится избыток ферментов, переходящих в плазму крови. Наконец, в больном организме может измениться проницаемость клеточных оболочек, что увеличит «утечку» ферментов.

Возбудители жизни (гормоны)

Нормальная работа желез внутренней секреции может нарушаться — усиливаться или ослабляться — при различных состояниях организма: инфекционных болезнях, отравлениях, повреждениях самих желез, заболеваниях нервной системы и т. д. В результате возникают эндокринные расстройства, нарушающие гармонию жизни организма как единого целого.

Определение гормонов в крови в ряде случаев помогает следить за деятельностью желез внутренней секреции. В крови человека выявлено более 20 гормонов, которые вырабатываются восемью железами, но не все из них надежно определяются химическими методами. Гормоны щитовидной железы — тироксин, трийодтирозин, связанный с белками, — принято определять по входящему в их состав йоду. Плазма здоровых людей содержит от 2,5 до 5,5 мкг %

йода. При некоторых болезнях (повышенная деятельность щитовидной железы) эта цифра увеличивается, а при других (микседема) понижается.

За последнее десятилетие научная медицина уделяет много внимания надпочечникам. Они выделяют в кровь более 10 различных гормонов — адреналин, норадреналин, кортикостероидные гормоны и др. Эти вещества, определяемые химическими методами, хотя и содержатся в крови в минимальных количествах, исчисляемых тысячными долями мг, могут многое рассказать врачу. Дело в том, что концентрация их в крови может резко возрасти или так же резко падать при различных заболеваниях.

В клинике широко применяют определение в крови кортикостероидных гормонов (вырабатываемых корой надпочечников). Их содержание составляет в норме не более 30 мкг% и обычно заметно снижается к вечеру. Но при некоторых болезнях (например, при недостаточности надпочечников) содержание кортикостероидных гормонов падает очень резко — до нескольких микрограммпроцентов. При других заболеваниях оно резко повышается.

Чрезвычайно интересен удивительный гормональный механизм, который выработан нашим телом для выполнения кровью выделительной (секреторной) функции. А кровь принимает самое непосредственное участие в удалении отработанных продуктов обмена — мочевины, мочевой кислоты и других химических «шлаков», накопление которых в организме чревато грозными последствиями. Артерии непрерывно несут к почкам кровь, в которой содержатся питательные и ядовитые соединения, а по мочеточнику все время отделяется моча. Если сопоставить состав плазмы крови и мочи, можно увидеть, что многие вещества, которые выводятся с мочой, имеются и в крови. Однако почка пропускает не все, что имеется в крови, а делает определенный отбор, выделяя в мочу одни вещества и удерживая в крови другие. Можно сказать, что почка «готовит» мочу из крови.

Но каков внутренний механизм этого процесса?

В прошлом столетии предполагали, что почка работает как и всякая другая железа, например слюнная или поджелудочная, т. е. что она просто берет из крови определенные вещества, выделяет, или, как говорят, секретировует их, и с необходимым количеством воды удаляет из организма. Но вскоре сложное строение почек и их основного звена,

так называемых мальпигиевых телец, или клубочков, заставило пересмотреть эти представления. Возникла фильтрационно-реабсорбционная теория деятельности почек, которая принята в науке и в настоящее время.

Эта теория состоит в следующем: в мальпигиевом тельце под действием высокого давления крови жидкая ее часть фильтруется сквозь кровеносные капилляры и выходит в полость между двумя стенками находящейся в тельце капсулы (капсула Шумлянского¹). Здесь образуется так называемая первичная моча. Далее в отходящих от мальпигиевого тельца извитых канальцах она переходит обратно в кровь, но при этом одни вещества, например глюкоза, возвращаются в кровь целиком, другие же — лишь частично. В результате этой сложной обработки первичной мочи в канальцах образуется окончательная моча, которая, собираясь в особые вместилца — лоханки, затем выводится из организма. В почках человека за сутки образуется около 1,5 л мочи. Для этого необходимо, чтобы в мальпигиевых клубочках выделялось более 170 л фильтрата, из которых 168,5 л возвращается в кровь. А для образования этого фильтрата нужно, чтобы через почки за сутки прошло примерно 1800 л, т. е. почти 2 т крови!

Для того чтобы следить за химизмом освобождения крови от «шлаков», выделяемых через почки, достаточно знать две цифры: содержание того или иного вещества в крови и количество этого же вещества, выделенное с мочой за определенное время, например за одну минуту. Разделив вторую цифру на первую, получают величину, характеризующую интенсивность, с которой почки «очищают» кровь от данного вещества. Зная количество в крови и моче какого-либо вещества, присутствующего в организме или вводимого извне, можно определять размеры клубочковой фильтрации, величины обратного всасывания в кровь и даже общий объем крови, протекающей через почку. Выделение мочи контролируется особым антидиуретическим гормоном, который выделяется задней долей гипофиза. При введении этого гормона в организм человека резко уменьшается отделение мочи.

Известно заболевание — так называемый сахарный диабет, при котором выработка этого гормона прекращает-

¹ Правильнее говорить о сосудистом клубочке Шумлянского, который расположен в капсуле и образует с ней мальпигиево тельце.

ся. Оно возникает в связи с поражением задней доли гипофиза или чаще первых центров, управляющих работой этой железы. Количество мочи при этой болезни резко возрастает. В особо тяжелых случаях человек выделяет до 40 л мочи в сутки, выпивая в этот период такое же количество воды. После введения антидиуретического гормона эти явления мгновенно исчезают, но процедуру приходится повторять довольно часто, так как гормон быстро разрушается и выводится из организма.

Поступление антидиуретического гормона в кровь точно регулируется нервным путем. При недостатке воды концентрация солей в крови несколько повышается и специальные чувствительные нервные окончания в тканях тотчас же «сообщают» об этом в центральную нервную систему — возникает рефлекс, усиливающий выделение гормона в кровь. Механизм действия этого гормона уже выяснен. В клетках, собирающих мочу, гормон вызывает выделение фермента — глутаронидазы, который как бы расклеивает вещество, соединяющее отдельные клетки, и таким образом открывает путь для обратного всасывания воды. Она начинает свободно поступать через межклеточные промежутки в лимфатические капилляры и затем в кровь. В результате концентрация солей уменьшается и поддерживается то равновесие во внутренней среде организма, которое столь необходимо для его нормальной жизнедеятельности. Так обстоит дело при недостатке воды.

Если же человек утолит жажду, выпитая вода быстро всосется в кровь, концентрация солей в ней снизится, рефлекс, вызывающий выделение антидиуретического гормона, ослабится, и гормон перестанет выделяться. А исчезновение его из крови прекратит выработку в почках фермента глутаронидазы, вещества, склеивающие клетки трубочек, восстановятся, и собирательные трубочки вновь станут непроницаемыми для воды. Ее излишек начнет выделяться в виде мочи. Таким образом антидиуретический гормон, находящийся в крови, регулирует водно-солевой обмен.

Важное значение для этого обмена имеет также другой гормон — альдостерон. Его вырабатывает кора надпочечников. Альдостерон воздействует на обмен очень важного для организма элемента — натрия, усиливая его обратное всасывание в почечных канальцах. Недостаток этого гормона ведет к потере натрия, что вызывает тяжелые нарушения в обмене солей. Избыток же альдостерона, наоборот,

задерживает натрий в тканях, причем вместе с ним пакапливается и вода. А в результате создаются условия для возникновения отеков различного происхождения.

Действие воды и минеральных веществ в крови

Сколько же воды содержит кровь, эта своеобразная жидкая ткань организма? Если сравнить содержание воды в крови и сердечной мышце, то окажется, что оно в обоих случаях почти одинаково. Почему же тогда кровь — жидкость, а сердце — твердое тело?

Жидкое состояние крови определяется ее строением, и белки плазмы играют важную роль, мешая клеткам крови склеиваться и оседать. Содержание воды в крови здорового человека может изменяться, уменьшаясь, например, при обильном потении. Сильно падает оно и при различных болезнях, например длительной рвоте, ожогах, так как кровь выделяет при этом не чистую воду, а растворы солей, а иногда и белков. Изменение содержания воды устанавливается путем определения сухого остатка в общей крови и в плазме, а также определения общего количества крови.

В незапамятные времена живые существа — далекие предки наземных животных и человека — жили в море. И в настоящее время минеральный состав нашей крови напоминает состав морской воды. Однако состав крови неизмеримо сложнее.

Кровь содержит более 30 различных минеральных веществ в виде солей и соединений с органическими веществами. Часть минеральных веществ сконцентрирована в эритроцитах, другая же — в жидкой части крови. Нормальный минеральный состав крови человека и возможные отклонения хорошо изучены. Установлено, что он зависит от возраста, сезона, времени дня и многих других условий. Соотношения между отдельными минеральными веществами в крови имеют жизненно важное значение для организма.

Ясно, что многие болезни не могут не влиять на минеральный состав крови. Например, при длительных поносах, рвотах организм теряет большие количества растворенного в воде хлористого натрия, и в крови падает содержание хлора (гипохлоремия). Уровень кальция в крови резко снижается при рахите, тетании, болезнях почек; содержание меди падает при малокровии и т. д. Здесь можно было бы назвать, конечно, и многие другие болезни. Поэтому

определение минеральных веществ в крови с каждым годом получает все большее распространение в клинической практике. Содержание минеральных веществ в крови может в определенных пределах меняться и у здорового человека. Оно зависит от возраста, от сезона и многих других причин. Некоторые минеральные вещества крови играют большую роль в регуляции важных физиологических процессов, так как принимают участие в электрических явлениях. Эти вещества называют электролитами, к ним в первую очередь относятся натрий и калий.

Натрий содержится преимущественно в жидкостях организма, а калий в клетках, следовательно, в эритроцитах крови. Этот элемент играет роль регулятора многих протекающих в организме процессов. Особенно велика роль калия при мышечном сокращении и в проведении нервного возбуждения. Натрий и калий поступают в организм с пищей и из кишечника всасываются в кровь. Соли натрия входят в так называемые буферные системы плазмы крови, роль которых сводится к противодействию резким изменениям реакции крови при поступлении в нее кислот или оснований (щелочей).

По данным некоторых ученых, повышение содержания калия отмечается при различных тяжелых состояниях организма независимо от характера заболевания (при повышении тонуса парасимпатической нервной системы, бронхальной астме, голодании и т. д.). Процессы всасывания калия из желудочно-кишечного тракта и распределения его между жидкостями организма и клетками находятся под влиянием гормонов коркового вещества надпочечников — дезоксикортикостерона и, возможно, других.

Натрий в крови связан преимущественно с хлором и углекислотой, небольшая часть его — с фосфатами и органическими кислотами. Патологические состояния могут изменять эти отношения: при сильных поносах организм выделяет много хлористого натрия, при голодании и значительном потовыделении количество натрия в моче, а следовательно, в крови также уменьшается. Перегревание организма нередко сопровождается тепловыми судорогами. Они являются зачастую следствием обильного питья и чрезмерного потоотделения, в результате чего в крови сильно уменьшается количество натрия и хлора. На содержание натрия в плазме крови оказывают большое влияние гормоны коры надпочечников.

Очень важен для человека хлористый натрий (обычная поваренная соль — это хлористый натрий с некоторыми примесями). Недостаток этой соли приводит к ряду нарушений в организме: обезвоживаются ткани, расстраивается кровообращение, теряется аппетит, понижается умственная деятельность. Эти нарушения в большинстве случаев наступают не оттого, что в пище не хватает поваренной соли, а из-за больших потерь соли при некоторых болезнях. Вследствие значительных потерь соли вода хуже задерживается в организме, человек испытывает жажду, много пьет и, страдая от недостатка соли, обычно этого не ощущает, не стремится его восполнить.

Хлористый натрий участвует в регулировании содержания жидкости в крови, влияя на мочеотделение и образование пота. Соль необходима для того, чтобы железы желудка вырабатывали в достаточном количестве соляную кислоту. Соль влияет также на деятельность нервной системы, почек, на кровообращение. В организме взрослого человека содержится около 300 г соли; за год человек съедает ее примерно 5,5 кг. Чрезмерное потребление соли вредно для здоровья: при этом нарушается деятельность сердца и почек, в связи с задержкой жидкости в организме могут опухать ноги, развивается общая слабость, изменяется состав крови и тканей, может также начаться понос в связи с расстройством деятельности кишечника. Людям, страдающим гипертонической болезнью, недостаточной сердечной деятельностью, болезнью почек, необходимо не более 7—8 г поваренной соли в день.

Жидкости организма гораздо богаче хлором, чем плотные ткани. Так, например, сыворотка содержит в среднем 370 мг% хлора, водянистая влага глаза — 440 мг%, спинномозговая жидкость — 440 мг%, лимфа — 420 мг%, кожа, легкие, хрящ — 250—260 мг%, мозг — 130 мг%, мышца (поперечнополосатая) и кишечник — 60 мг%. Гладкая мускулатура в два раза богаче хлором, чем поперечнополосатая.

Удаление хлора происходит в основном через мочу — 90% и только 10% выбрасывается с калом и потом. В течение дня с желудочным соком выделяется в два раза больше хлора, чем общее количество этого элемента в крови. В дальнейшем весь этот хлор вновь всасывается. При рвоте же потеря хлора может превосходить общее его количество, циркулирующее в крови, в четыре раза. В патологичес-

них случаях количество хлора, связанного с белками эритроцитов, может сильно возрасти.

Гормоны коркового вещества надпочечников влияют на обмен хлора так же, как и на обмен натрия. Так, недостаточность коркового вещества надпочечников приводит к увеличению выделения натрия и хлора с мочой и соответствующему уменьшению содержания его в крови. Введение экстракта коры надпочечников — кортина — приводит к противоположным результатам — задержке натрия и хлора в организме. Нередко за нарушением хлорного обмена следует нарушение водного. При этом могут наблюдаться два противоположных случая: потеря воды и, наоборот, ненормально большое ее удержание в организме, хотя это на первый взгляд и кажется парадоксальным.

Первый случай, т. е. потеря воды при гипохлоремии (недостатке хлора), встречается иногда у грудных детей — это так называемые дегидратированные дети, теряющие в весе. Причины подобного состояния бывают различные: понос, рвота. Оно наблюдается также при непроходимости кишок (независимо от механизма непроходимости), когда организм вместе с рвотой выделяет большое количество хлоридов и теряет одновременно воду. Гипохлоремия, связанная с тенденцией к удержанию воды в организме, наблюдается при болезнях почек (нефрозы), сопровождающихся повышенным образованием кислот. Гипохлоремия, связанная с повышенным содержанием в крови азотистых веществ, тоже наблюдается иногда при различных формах болезней почек. Особую категорию гипохлоремий составляют заболевания, возникающие в результате поражения коры надпочечников. В этом случае уменьшается образование «водно-солевого гормона», вследствие чего почка пропускает слишком большие количества солей и не всасывает их обратно.

Зная содержание хлора в цельной крови и в плазме, можно вычислить содержание этого элемента в эритроцитах: при помощи специального центрифужного прибора — гематокрита — определяют соотношение в крови эритроцитов и плазмы. В норме этот индекс обычно составляет от 0,48 до 0,53. При ацидозе же он повышается до 0,65 и более; хлор эритроцитов может увеличиться до 235 мг% и больше, а в плазме — упасть до 210 мг%.

Сера содержится в крови в виде органических соединений и минеральной, т. е. окисленной форме. Болезни почек,

непроходимость кишечника и другие заболевания сопровождаются повышением окисленной серы в крови.

Содержание фосфатов в крови тесно связано с деятельностью желез внутренней секреции: при диабете повышенное содержание фосфатов в крови так же характерно, как и повышение сахара. В случае повышенного выделения гормона поджелудочной железы — инсулина (или передозировке его при лечении инсулином) — количество фосфатов в крови уменьшается. В крови фосфор находится в различных соединениях. Часть этих соединений представляет собой неорганические соли фосфорных кислот — ортофосфорной и пирофосфорной с катионами Na, K и др. Другая часть фосфора соединена с органическими веществами: это фосфорсодержащие белки, нуклеиновые кислоты, креатинфосфат, глюкозофосфат и фосфорсодержащие липиды. Для медиков важно знать величину неорганического фосфора. Однако в последнее время врачи стали интересоваться и липидным фосфором — лецитином и лабильным (подвижным, неустойчивым) фосфатами, количество которых меняется при гипертонической болезни, нарушении кровообращения, окислительных процессах и других заболеваниях. В патологических случаях удается обнаружить в крови креатинфосфат.

В усвоении кальция большую роль играет состояние пищеварительного аппарата. При расстройствах пищеварения и у больных туберкулезом выделение кальция кишечником увеличивается и для компенсации пищевую дозу кальция приходится увеличивать. В норме кровь содержит 9—11 мг% кальция. Эта цифра возрастает при повышенной деятельности паращитовидных желез, базедовой болезни, при переломах костей. Количество кальция снижается при голодании, бронхиальной астме, рахите, тяжелых болезнях печени и др. Усвоение кальция организмом тесно связано с витамином Д.

Усвоение магния определяется факторами, сходными с теми, которые управляют усвоением кальция, но витамин Д играет здесь, по-видимому, значительно менее важную роль. Повышенное поглощение магния снижает усвоение кальция. Недостаточное поступление магния в организм приводит к тяжелым последствиям. При тяжелых эпилептических судорогах наблюдалось падение магния в крови.

Небольшие увеличения магния крови находят при хронических болезнях почек — гломерулонефритах, иногда его

увеличение наблюдается при детских судорогах — тетани, при гиперпаратиреонизме — повышенной функции паращитовидных желез; увеличение его может наблюдаться и при рахите.

Железо поступает в организм из пищи, причем обычный пищевой рацион содержит достаточное количество железа для нормального организма. В патологических случаях его может не хватать. Поглощаемое железо, поступая в кровь и ткани, быстро окисляется и вступает в соединение с глобулином-апоферритином, образуя ферритин, который затем участвует в создании гемоглобина крови. Большая часть железа, имеющегося в организме, входит в состав гемоглобина. Но при различных заболеваниях, связанных с нарушением образования этого пигмента, увеличивается количество железа в сыворотке. Наоборот, при усиленном образовании гемоглобина содержание железа в сыворотке уменьшается.

Марганец способствует повышению гемоглобина в крови и снижению уровня сахара в ней. Медь входит в состав некоторых окислительных ферментов крови, усиливает действие инсулина, регулирующего количество сахара в крови. Цинк тоже является составной частью окислительного фермента — угольной ангидразы эритроцитов и усиливает действие инсулина. В составе витамина В₁₂, который обеспечивает нормальное кроветворение, содержится кобальт.

Йод крови делится на две фракции: неорганическая — ее около 30% от всего йода, и органическая, которая составляет 70% всего йода крови. Органически связанный йод принадлежит тироксину и тироксиноподобным веществам; остальной органически связанный йод — это главным образом диодтирозин. В связи с незначительными размерами щитовидной железы концентрация йода в ней приблизительно в 1000 раз больше, чем в других тканях.

Концентрация йода в крови может служить очень чувствительным способом контроля активности щитовидной железы. При повышенной деятельности щитовидной железы, например при базедовой болезни, отмечается увеличение в крови йода, в особенности его фракции, связанной с белками. Лечение йодом в этом случае приводит к уменьшению в крови фракции йода, связанного с белками, тогда как фракция свободного (неорганического) йода, наоборот, увеличивается.

Увеличение йода в крови отмечается также при желчнокаменной болезни, при лейкомии (белокровии) и других заболеваниях, но это увеличение количества йода не носит постоянного характера. Повышение содержания йода в крови отмечено при желтухе, злокачественной анемии и некоторых видах злокачественных опухолей. Снижение йода в крови наблюдается при микседеме. Наблюдение за йодом крови в этом случае позволяет установить угрозу кретинизма очень рано, когда другие методы исследования еще бессильны.

В качестве диагностического метода в медицине применяется также определение резервной щелочности, т. е. количество углекислоты, содержащейся в плазме крови в виде бикарбоната. Этот метод полезен для быстрой ориентировки в состоянии буферных систем плазмы крови. Ясно, что чем больше количество двууглекислого натрия в плазме, чем больше ее щелочной резерв, тем больше ее буферная способность по отношению к кислотам. Наоборот, уменьшение количества двууглекислого натрия в плазме показывает, что часть его уже израсходована на нейтрализацию избытка кислот и, следовательно, буферная сила плазмы по отношению к вновь поступающим кислотам уменьшена.

В норме резервная щелочность, выраженная в объемных процентах, колеблется от 45 до 70. Цифры 30—40 объемн. % обозначают умеренное снижение резервной щелочности, а ниже 30 — резкое падение, указывающее на то, что очень значительная часть резервов щелочи уже израсходована и буферная сила плазмы очень ослаблена. Наоборот, повышение резервной щелочности выше 70 объемн. % свидетельствует о том, что в плазме крови имеется большое количество двууглекислого натрия и что в организме происходит процесс, ведущий к накоплению щелочей в крови. Определение резервной щелочности дает возможность быстро ориентироваться в том, имеется ли в крови в данный момент избыток кислот или щелочей. Необходимо, однако, подчеркнуть, что одно определение резервной щелочности не может дать никаких указаний относительно характера процесса, ведущего к понижению или повышению содержания двууглекислого натрия в плазме крови.

Фабрика крови

В кубическом миллиметре крови в норме содержится 4—5 млн. эритроцитов. Если учесть, что у человека в организме циркулирует 5—6 л крови, нетрудно подсчитать общее число эритроцитов. Число это колоссально — 25 000 млрд. Такое количество эритроцитов вырабатывается в организме в течение 100 дней. Ежедневно с «конвейера» костного мозга — главного органа кроветворения — сходит около 300 млрд. эритроцитов. Бесперебойная работа костного мозга продолжается в течение всей жизни человека. Пользуясь грубым сравнением, можем сказать, что эритроциты — это своеобразное сочетание грузовой баржи с химической лабораторией или фабрикой, в которой осуществляются тысячи разнообразных химических превращений. Эта плавучая фабрика перевозит различные «грузы», доставляя их ко всем тканям и органам. В «обратный рейс» она осуществляет перевозки других продуктов обмена веществ. Естественно, что химический состав эритроцитов и других клеток крови — лейкоцитов, тромбоцитов — заметно отличается от состава плазмы и сыворотки.

Важнейшая функция эритроцитов — дыхательная, перенос кислорода от легких к тканям и углекислоты в обратном направлении. Первое осуществляется содержащимся в эритроцитах гемоглобином, который образует, как мы уже рассказывали выше, оксигемоглобин — химически прочное соединение с кислородом, обеспечивающее транспорт и передачу этого газа тканям. Только незначительная часть кислорода находится в крови в физически растворенном виде. Углекислота же, в основном в виде бикарбонатов, переносится как эритроцитами, так и плазмой. Углекислый газ, проходя в ткани и растворяясь в плазме крови, медленно соединяется с водой, образуя угольную кислоту. Этот процесс сильно ускоряется специальным ферментом — угольной ангидразой, которая содержится только в эритроцитах, а в плазме отсутствует.

Многие клеточные ферменты, содержащиеся в эритроцитах, переходят в плазму, когда эритроциты разрушаются (например, при так называемой гемолитической анемии). Только в эритроцитах содержится глутатин — азотистое вещество, играющее важную роль в процессах окисления — восстановления. В химический состав эритроцитов входят и некоторые другие азотистые вещества — аденозинтри-

фосфорная кислота, эрготионин. В отношении содержания остальных веществ эритроциты отличаются от плазмы только большим (остаточный азот, железо, калий, магний, цинк) или меньшим (глюкоза, витамины, натрий, кальций, алюминий) их количеством.

Другие клеточные элементы крови (лейкоциты, тромбоциты) также отличаются особенностями химического состава, правда, еще не полностью изученными. В частности, лейкоциты содержат гликоген, отсутствующий в эритроцитах. Для врача имеет значение то, что химический состав эритроцитов и лейкоцитов может закономерно меняться при некоторых болезнях, а это может быть использовано в практических целях для уточнения диагноза болезни.

Итак, кровь содержит огромное количество разнообразных веществ, находящихся в постоянных превращениях. Удобнее всего сравнить ее со своеобразной передвижной химической выставкой или, пожалуй, «ярмаркой» молекул. Со всех частей организма сюда собираются невидимые разпокалиберные частицы, начиная с полипептидных молекул нуклеиновых кислот и белков и кончая крохотными молекулами воды. Но рассказ о крови, ее составе и роли в организме был бы неполон, если бы мы не заглянули туда, где рождается, формируется эта сложная жидкая ткань.

Основная роль в кроветворении принадлежит красному костному мозгу, содержащемуся как в суставных окончаниях трубчатых костей, так и в плоских костях (грудные, лопатки, позвоночник, череп). Здесь образуются в сутки сотни миллиардов эритроцитов, здесь же формируются лейкоциты и тромбоциты. В процессе кроветворения принимают участие и другие органы тела, в первую очередь селезенка и лимфатические узлы, где образуется особая форма лейкоцитов — так называемые лимфоциты. На образование крови в нашем теле влияют многие происходящие в нем процессы и, конечно, нервная система, обеспечивающая согласованность между темпами и величиной этой продукции и деятельностью всего организма.

В регуляции кроветворения значительную роль играют витамины группы В, которых теперь насчитывают 15. В кроветворении принимают участие многие из них, но особенно активен в этом отношении витамин В₁₂. Это вещество обладает способностью ускорять превращение незрелых эритроцитов в зрелые нормальные безъядерные кровяные тельца, которые содержат гемоглобин. Таким

собразом, витамин В₁₂ может быть назван катализатором кроветворения. Активность этого катализатора изумительна. Достаточно всего пяти миллионных частей грамма (5 мкг), чтобы обеспечить ежедневное производство 300 млрд. зрелых эритроцитов.

Итак, полноценная работа эритроцитов возможна только, если костный мозг выпускает совершенно зрелые, безъядерные эритроциты, а для нормального созревания их необходимо, чтобы в организм поступало определенное, хотя и ничтожное количество витамина В₁₂. И если нормальное снабжение организма этим витамином по той или иной причине нарушается, наступают тяжелые нарушения в составе крови. Конечно, может случиться, что в суточном рационе не содержится такое количество витамина В₁₂. Но это возможно только при каких-либо чрезвычайных обстоятельствах. В самом деле витамин В₁₂ содержится во всех продуктах животного происхождения: мясе, молоке и т. д. в достаточных для организма количествах. Кроме того, о снабжении организма этим витамином заботятся и бактерии, обитающие в кишечнике и синтезирующие некоторое количество витамина В₁₂. Но при значительных расстройствах кишечник может потерять всасывательную способность, и витамин В₁₂ перестанет поступать в кровь. В результате может возникнуть витаминная недостаточность и как следствие ее острая анемия — малокровие.

Но это только одна из возможных причин возникновения малокровия. Чаще встречается другая причина, когда работа «фабрики крови» дезорганизуется не по вине плохой работы кишечника, а вследствие расстройства деятельности желудка. Каким же образом желудок может вызвать перебои в работе «фабрики крови»? Раскрытие этой загадки в последнее десятилетие — большая заслуга ученых. Оказалось, что в слизистой оболочке дна желудка имеются особые клетки, вырабатывающие белковое слизистое вещество, которому дали название гастромукопротеин. Это вещество после всасывания через кишечник в кровь откладывается про запас в печени и затем используется в процессе кроветворения. Считают, что сам по себе гастромукопротеин не влияет на этот процесс, но способствует усвоению витамина В₁₂. Таким образом, если желудок не обеспечит снабжения гастромукопротеином, витамин В₁₂ не включится в процесс кроветворения и этот процесс дезорганизуется. Таким образом, и в этом случае малокровие

вызвано недостаточностью витамина В₁₂. Поэтому во многих случаях острого малокровия достаточно введения в организм препарата В₁₂. Он тотчас же включается в процесс производства нормальных эритроцитов, и больной выздоравливает за сравнительно короткий период времени.

Наряду с этим имеются все основания считать, что в крови и желудочном соке содержатся особые вещества (гемопоэтины), способствующие кроветворению, образование и активность которых находится под контролем нервной системы. Никакая фабрика не может работать, если она не обеспечена сырьем для переработки его в готовую продукцию. Один из видов такого сырья для образования красной крови (эритроцитов) — железо, необеспеченность которым также может привести к развитию малокровия. Заболевание в этом случае быстро проходит, если доставить организму достаточное количество железа (особенно в сочетании с витамином С). Нормальный ход кроветворения зависит и от многих других причин (например, гормональные расстройства). Бывают и такие случаи, когда «фабрика крови» производит больше, чем нужно, форменных элементов крови. Иногда же организм предъявляет меньший спрос на ее продукцию. Это бывает в горах. В обоих случаях возникает болезненное состояние, наиболее выраженной и довольно тяжелой формой которого является так называемое полнокровие.

Важной частью процесса кроветворения является и разрушение форменных элементов. В этом отношении особенно активна селезенка — орган, который может быть назван «кладбищем» эритроцитов. Разрушая их, селезенка одновременно помогает организму использовать обломки на воссоздание новых красных кровяных телец.

Интересно отметить, что сам гемоглобин и продукты его распада определяют окраску тканей нашего тела: алый цвет артериальной крови связан с присутствием соединения гемоглобина с кислородом — оксигемоглобина, а синеватая окраска венозной обусловлена соединением гемоглобина с углекислотой — карбоксигемоглобина; желтый цвет жира и ярко-красный мышц, желто-зеленая окраска желчи и янтарная моча — все это обусловлено продуктами распада или превращения гемоглобина. Процессы кроветворения и кроверазрушения тесно связаны между собой и, так же как и состав крови, регулируются нервной системой. Поэтому следует говорить о единой системе крови в организме.

До сих пор мы говорили о «фабриках крови» и их продукции. Но организм как заводской хозяин имеет не только производство, но и складские помещения. Роль таких «складов» выполняют органы, которые содержат в своих сосудах значительные количества не принимающих участия в кровообращении запасных эритроцитов. В организме животного таким «складом» является в первую очередь селезенка, а у человека — печень, сплетения венозных сосудов в коже и легкие. Эти органы называют депо крови. В этих депо может откладываться около половины всего количества эритроцитов крови. Когда происходит значительная потеря крови или нарушается кровотокообразование, в кровяные депо поступает сигнал о необходимости мобилизовать резервы эритроцитов; депо незамедлительно опорожняются и вливают в общий ток крови запасные количества красных кровяных телец. Сигналы о недостатке эритроцитов могут быть различными, но основной из них — недостаток кислорода, который возникает при обеднении крови гемоглобином.

Кислородное голодание, наступающее и от других причин, тоже является стимулом к опорожнению кровяных депо; это можно легко наблюдать на больших высотах в горах. Конечно, в этих условиях мобилизуется костный мозг, образующий повышенное количество красных кровяных телец, миллиарды которых устремляются к легким. Но при резком уменьшении кислорода организм прибегает к внезапному и быстрому опорожнению резервуаров — кровяных депо. Легко убедиться, что в аварийных условиях увеличение числа кровяных телец происходит с такой скоростью, которая не может быть результатом деятельности кровяных органов.

Когда мы находимся в горах

Высота — явление, если так ее можно назвать, распространенное гораздо шире, чем обычно думают. Специфические признаки горного климата проявляются уже на высоте 500 м над уровнем моря. Это значит, что жители Караганды и Алдана, Златоуста и Алма-Аты, Анджапа, Бодайбо, Еревана, десятков других больших и малых городов и сел нашей страны живут и работают в условиях высокогорья. Если же учитывать рабочих рудников Восточной Сибири, закарпатских лесорубов, чабанов Средней Азии, строителей, геологов, астрономов, метеорологов и людей многих других профессий, которым по роду их занятий необходимо проводить в горах долгое время, то можно без преувеличения сказать, что каждый пятый гражданин нашей страны испытывает на себе влияние горного климата.

Между тем даже в малых дозах влияние это весьма ощутимо. Тот, кто бывал в Тбилиси, знает, как в летнюю жару тысячи жителей города устремляются на верхнее плато, чтобы насладиться здесь великолепным видом, прохладой, свежестью удивительно чистого воздуха. По дороге, правда, приходится испытать несколько неприятных минут: закладывает уши, перехватывает дыхание. Но уже вскоре после того, как поднявшиеся покидают вагончик фуникулера или кабину подвесной канатной дороги, эти явления бесследно проходят, и «гости высоты» словно оказываются в другом мире, где каждый чувствует себя помолодевшим, бодрым, неутомимым. Это состояние известно многим, а ведь разница в высоте над уровнем моря при таком подъеме очень невелика — всего каких-нибудь 200—300 м. Если же подъем совершается не на 300, а на 500, 1500,

2000 м? И если пребывание в горах продолжается не часы или дни, а месяцы, годы? Нетрудно сделать вывод, что в этом случае организм испытывает еще более сильное воздействие горного климата.

Впрочем, нет оснований думать, что раньше об этом не знали. В сказаниях и летописях горных народностей вы найдете многочисленные упоминания о тех «особых условиях», в которые попадает человек, поднимаясь в горы. Жителям горных местностей Кавказа, Средней Азии, Южной Америки с незапамятных времен было известно, что пребывание на больших высотах далеко не безразлично для организма человека. Позднее это узнали и появившиеся здесь европейцы.

Завоеватели Перу — испанцы — уже в XV в. убедились, что климат высокогорной местности пагубно влияет на рождаемость в семьях чужеземцев. В то же время среди местных жителей нередко можно было встретить семьи с 5—8 детьми. Испанские конкистадоры, обратив внимание на это обстоятельство, вышли из положения довольно просто. Столица Перу, расположенная в горах, на высоте 3000 м над уровнем моря, была перенесена на берег океана. Подобное административное решение сложной научной проблемы в современных условиях, во всяком случае в нашей стране, неприемлемо. И значит изучение воздействий высокогорья — задача, имеющая не только теоретическое, но и очень большое практическое значение. Причем роль этих исследований возрастает буквально с каждым днем. Достаточно сказать, что биохимия горного климата в недалеком прошлом послужила одним из трамплинов для прыжка в просторы космоса. Многие из того, что было необходимо для успешной подготовки покорителей околоземных трасс, было изучено и проверено с помощью данных, полученных при исследованиях влияния на организм горных условий, если так можно выразиться, некосмической высоты.

Итак, условимся, рискуя вызвать сплывающие улыбки альпинистов, считать горы высотой больше 2000 м над уровнем моря — высокими, от 2000 до 1000 м — средними, а от 1000 до 500 м — низкими. Договоримся, что людей, которым в силу тех или иных причин необходимо значительное время проводить на высоте, мы будем именовать горножителями, и приступим к нашему рассказу.

Что же главное?

Самая характерная особенность, которая не встречается нигде, кроме как в горах, это ... высота. Она характеризуется прежде всего пониженным атмосферным давлением, а вместе с тем, и падением парциального давления кислорода. Последнее изменяется в пределах горных высот в точном соответствии с изменением атмосферного давления, поскольку содержание кислорода в смеси газов, составляющих воздух, остается на таких высотах неизменным — около 21%. Парциальное давление кислорода представляет величину, жизненно важную для организма. Снабжение тканей организма кислородом зависит от того, насколько полно происходит насыщение крови этим газом. Степень же насыщения крови кислородом определяется его парциальным давлением.

Здесь уместно будет сказать несколько слов о сердечно-сосудистой системе и гемоглобине. Известно, что весь путь крови подразделяется на два — большой и малый круг кровообращения. Большой круг — от сердца к органам тела и обратно — обеспечивает питание и дыхание тканей; малый — от сердца к легким и обратно — позволяет организму освобождаться от углекислоты и снабжает кровь кислородом. Гемоглобин, содержащийся в красных кровяных шариках — эритроцитах — всех позвоночных животных и человека, выполняет роль переносчика кислорода из легких в ткани и участвует в «транспортировке» углекислого газа из тканей в легкие. Поэтому уменьшение или увеличение содержания гемоглобина в крови (или изменения его строения) весьма важны для здоровья. Конечно, кровь может перенести кислород просто в растворенном виде, не связав его с гемоглобином, но в таких небольших количествах, что ткани просто задохнулись бы от его недостатка.

До последнего времени было широко распространено мнение, что пребывание в горной местности сильно сказывается на деятельности сердечно-сосудистой системы. В подтверждение этого приводились данные об изменении давления крови и частоты пульса. Действительно, активное восхождение на определенную высоту, связанное с мышечной работой, почти всегда ведет к повышению пульса и кровяного давления. Особенно это заметно у людей малотренированных. Однако если для подъема (не выше

5000 м) воспользоваться автомобилем и другим средством передвижения, то эти показатели чаще всего не изменяются. Если даже пульс участится и кровяное давление повысится, то на высотах не более 5000 м эти изменения проходят уже в течение первой недели. Но если на работу сердца даже значительные высоты оказывают весьма малозаметные воздействия, то гемоглобин по мере подъема над уровнем моря претерпевает значительные изменения.

В горах, особенно на больших высотах (3000 м над уровнем моря и более), скорость образования гемоглобина резко повышается. Не случайно поэтому многим людям с пониженным содержанием гемоглобина медики рекомендуют отдыхать в горных местностях. Не надо, однако, в погоне за гемоглобином стремиться попасть на слишком большие высоты. Если почти каждый человек (за исключением сердечных больных) безболезненно переносит пребывание на высотах до 2000 м над уровнем моря, то на высоте 4000 м и выше хорошо чувствуют себя только тренированные спортсмены или местные жители. У непривычных людей уже на этих высотах могут проявиться признаки «горной болезни». Поэтому «добывать» гемоглобин рекомендуется на высотах в 1000—1500 м над уровнем моря, или, по нашей классификации, в горах средней высоты.

Итак, повышенные высоты над уровнем моря увеличивает содержание гемоглобина в крови. Но нет правил без исключения. Иногда в горах уровень гемоглобина в крови может снижаться. Известно, например, что у жителей Ивы на высоте 2000 и даже 3000 м количество эритроцитов и гемоглобина ниже, чем у жителей низменности. А советские ученые совсем недавно описали случай, когда в Киргизии при восхождении на высоту 4300 м наиболее выносливыми оказывались люди со сравнительно небольшим содержанием эритроцитов и гемоглобина.

Попробуем разобраться в происхождении и механизме этих противоречивых явлений. Тот факт, что подъем в горы увеличивает содержание гемоглобина, объяснить сравнительно несложно. Гемоглобин — переносчик кислорода. И если организм ощущает его нехватку, он «мобилизует» свои резервы. Это явление наблюдается уже в первые дни пребывания в разреженной атмосфере. В первое время организм при недостатке кислорода использует запасы эритроцитов, содержащиеся в своеобразных складах — так называемых депо. Одним из таких депо, как уже

говорилось, является, например, селезенка, которая в ответ на недостаток кислорода выбрасывает в кровь значительное количество эритроцитов. В дальнейшем недостаток кислорода во вдыхаемом воздухе, по-видимому, оказывает влияние на деятельность «фабрики крови» — костного мозга, который, стремясь вывести организм из затруднительного положения, заставляет усиленно работать и давать дополнительную продукцию. Действительно, в крови людей на высотах обычно находят повышенное количество так называемых ретикулоцитов — молодых, «недозревших» красных кровяных шариков. Эта «молодежь» как бы спешит помочь зрелым эритроцитам, которым в новых, трудных для организма условиях нелегко справиться с задачей обеспечения тканей достаточным количеством кислорода. Возможно, что деятельность фабрики крови повышается и в ответ на некоторое сгущение крови, действительно наблюдаемое на высотах.

Ну, а чем можно объяснить снижение уровня гемоглобина и содержания эритроцитов? Наука пока еще не может дать точного ответа на этот вопрос, но некоторые предположения достаточно обоснованы.

Если учесть, что общее снижение числа эритроцитов и уровня гемоглобина наблюдается, как правило, у людей, постоянно проживающих в горных местностях, то объяснение этого явления следует, по-видимому, искать в приспособительных функциях организма. Так, например, по мнению многих исследователей, у значительной части горцев Киргизии ослаблена деятельность щитовидной железы. Как известно, из всех органов нашего тела самым чувствительным к недостатку кислорода является мозг, особенно когда его раздражает гормон, вырабатываемый щитовидной железой. Если активность этой железы понижена, мозг становится менее чувствительным, а управляемый им организм — более устойчивым к недостатку кислорода.

Но продолжим наш рассказ. Каким образом кровь осуществляет свою дыхательную функцию на высотах? Принято говорить, что гемоглобин обладает «средством» к кислороду. Степень этого средства может меняться в весьма значительных пределах. Кислород, как мы уже говорили, не просто растворяется в крови: он вступает в химическую связь с гемоглобином, обладающим способностью почти полностью насыщаться кислородом при относительно малом содержании его в воздухе. В атмосфере, при нормальном

давлении, парциальное давление кислорода равно 150 мм ртутного столба, а в глубине легких, в альвеолах, где кислород поступает в кровь, его парциальное давление составляет всего 100—105 мм ртутного столба. Несмотря на это, гемоглобин крови, протекающий через легкие, насыщается кислородом почти полностью — на 96%. Лишь несколько частиц гемоглобина из сотни окажутся свободными от кислорода.

Итак, образно говоря, гемоглобин стремится насытиться кислородом. Причем, если организм попадает в условия низкого парциального давления, это свойство гемоглобина проявляется в еще большей степени. Парциальное давление кислорода по мере подъема падает весьма заметно, а степень насыщения гемоглобина кислородом снижается незначительно. Даже когда парциальное давление кислорода в легких уменьшится вдвое, гемоглобин окажется еще насыщенным на 80%. Благодаря этому свойству гемоглобина — жадно присоединять к себе кислород даже при малых его давлениях — оказывается возможным передвижение и жизнь человека в горах.

Конечно, то обстоятельство, что в высокогорье около 20—30% гемоглобина остается ненасыщенным кислородом, дает о себе знать, и организм испытывает в этих условиях кислородный голод. И все же, как правило, при некоторой тренировке здоровый («средний») человек оказывается вполне работоспособным на высотах до 3000 м. Но эта высота — своего рода «кислородный потолок». При подъеме на 4250 м работоспособность падает в среднем примерно на 20%, а на высоте 5500 м уже на 40%.

В чем же дело? Почему возникает столь резкий качественный скачок. Ответ на этот вопрос можно найти в исследованиях советского ученого В. С. Фарфеля.

Дело в том, что содержание кислорода в воздухе независимо от его давления, составляет приблизительно 21%. Однако из этого объемного количества организм использует лишь некоторую часть, обычно около 4%, остальные 17% выдыхаются наружу. Поэтому, если потребление кислорода достигает, например 4 л в минуту, объем воздуха, проходящего через легкие, должен составлять приблизительно 100 л в минуту.

Ну, а какой объем воздуха должен проходить через легкие (для поддержания нормального кислородного режима) на больших высотах? Вывод напрашивается сам со-

бой: во столько же раз больший, во сколько раз снижается на данной высоте атмосферное давление. Если при давлении 760 мм легким ежесекундно требуется 100 л воздуха, то при давлении 600 мм объем легочной вентиляции должен увеличиться в отношении 760 : 600, т. е. приблизительно на 25%.

Но возможности изменения объема легочной вентиляции довольно ограничены. Его увеличение до 130—140 л в минуту требует уже предельной нагрузки легких. Дыхание при такой мощной работе достигает частоты 40—60 в минуту, объем каждого дыхания доходит до $\frac{3}{4}$ всей жизненной емкости легких. Это уже предельная глубина дыхания, возможная при наивысшей его частоте. Следовательно, наши легкие обладают как бы некоторым резервом работоспособности, который способен до определенного предела компенсировать недостаток кислорода в атмосфере за счет своей усиленной работы. Этот резерв рассчитан на давление воздуха, соответствующее высоте 3000 м.

Разумеется, высота кислородного потолка для каждого человека неодинакова, и к тому же она может быть увеличена за счет соответствующей тренировки. И все же приведенные в этом разделе цифры могут быть отнесены к большинству нормально развитых и вполне здоровых людей.

Хотя каждый из упомянутых выше элементов горного климата обладает своим биологическим действием, наиболее характерным из них, «ведущим» элементом в комплексе действия всех его факторов на организм человека и животных является снижение парциального давления кислорода, сопутствующее уменьшению атмосферного давления. Поэтому в дальнейшем, рассматривая влияние горного климата на организм, мы уделим главное внимание именно недостатку кислорода с той оговоркой, что в горах организм подвергается действию не только этого фактора, но всего сложного климатического комплекса.

Отметим также, что большинство данных, приведенных в последующих разделах брошюры, получено при исследованиях биохимических и физиологических процессов, протекающих в организме альпинистов. Однако выводы и рекомендации, относящиеся к альпинистам, могут быть в полной мере отнесены и к людям самых различных профессий, живущим и работающим в горах.

Горы и белки

Совокупность всех процессов превращения белков и других азотсодержащих веществ в живом организме обычно называют азотистым обменом. В этом обмене легко различить три основных этапа: 1) белки и другие вещества с пищей поступают в организм; 2) из продуктов питания выделяются легкоусваиваемые формы белков, которые поступают из кишечника в кровь, доставляющую их к различным органам тела; 3) питательные вещества перерабатываются и усваиваются организмом. При этом из них образуются необходимые клеткам «строительные материалы» и катализаторы — ферменты. Кроме того, на третьем этапе накапливаются «отходы производства» — конечные продукты азотистого обмена, которые выделяются из организма, главным образом с мочой.

Влияет ли пребывание на значительных высотах на какой-либо из этих этапов азотистого обмена и если влияет, то как именно? Этот вопрос интересовал ученых уже в прошлом веке. Но уровень науки того времени не позволял дать исчерпывающий ответ. И все же нельзя не удивляться тому, что еще 80 лет назад, применяя самые простые средства и несложные опыты, такие отечественные исследователи, как И. М. Альбицкий, сумели установить характер изменений азотистого обмена в связи с недостатком кислорода. Не будем останавливаться на истории развития исследований обмена азотистых веществ в горах. Нас интересует, как современная наука объясняет то, что происходит с этим обменом на высотах. Но сначала несколько слов о белках.

Белки — главная составная часть живого вещества. Они представляют собой основной материал, из которого построены все ткани и органы нашего тела. В процессе жизнедеятельности происходит постоянное обновление белков — вместо разрушающихся тканевых белков организм непрерывно создает новые. Следовательно, он постоянно нуждается в строительном материале; эта потребность сохраняется на протяжении всей его жизни. Материал организм получает из пищи. В рацион человека входят различные продукты животного и растительного происхождения — хлеб, мясо, рыба, яйца, молоко и молочные продукты, крупа, овощи и т. д. Все они являются источником белка. Но белки пищи не могут непосредственно усваиваться организмом. Поступая в пищеварительный тракт, они расщеп-

ляются на отдельные аминокислоты, которые и служат материалом («кирпичиками») для построения белков человеческого тела.

Мы уже упоминали, что одно лишь пребывание на больших высотах даже в состоянии покоя предъявляет к организму требования, сходные с теми, которые вызываются усиленной мышечной работой. Естественно, что при выполнении какой-либо работы в горах эти требования усугубляются. Именно поэтому в рационе горножителей пищевые белки играют особую роль. Установлено, что многие белки способствуют ускорению восстановительных процессов после тяжелой мышечной работы. Это связано с действием некоторых аминокислот, из которых построена молекула белка. Например, глутаминовая кислота как бы оказывает «скорую помощь» специальному ферменту, ведающему восстановлением работоспособности утомленных мышц. Другая аминокислота — метионин — помогает интенсивно работающему телу справиться с извлечением запасов энергии из жиров и обеспечивает нормальную работу печени. Таких примеров можно привести немало.

Итак, горы «предъявляют» к качеству питания свои особые требования, увеличивая расходование белков организмом, повышая потребность в определенных аминокислотах. В соответствующих разделах брошюры будет указано, какие пищевые продукты лучше всего обеспечивают полноценность питания белками. А теперь перейдем к ближайшим «родственникам» белков — ферментам.

Как ведут себя в горах ферменты ?

Вспомним, что ферменты — это биологические катализаторы, обладающие способностью ускорять или замедлять течение различных химических реакций обмена веществ в организме. Как уже говорилось выше, на вооружении каждой клетки тела и любого живого существа находится целый арсенал самых разнообразных ферментов, управляющих химическими процессами обмена веществ в удивительной согласованности друг с другом. Но изменение высоты нарушает нормальное течение этих процессов, ломает отличную «сыгранность», меняет деятельность ферментов.

Что же происходит с ферментами крови в горах? На это можно дать общий ответ: как правило, в горах средней

высоты активность большей части ферментов повышается, на значительных высотах — подавляется. При переваривании белков, содержащих аминокислоту гистидин, в качестве «отхода» образуется ядовитое азотсодержащее вещество — гистамин. Накапливается гистамин и в коже, особенно подвергнутой действию ультрафиолетовых лучей. Главный путь обезвреживания гистамина — это его окисление в организме при помощи особого фермента — гистаминазы (диаминооксидазы). Но при недостатке кислорода на больших высотах окисление гистамина в тканях тела замедляется и содержание его возрастает.

Основная причина накопления вредных продуктов в крови в условиях высокогорья — не только усиление их образования, но и ослабление деятельности окисляющих их ферментов. Разумеется, нет правил без исключения. Некоторые ферменты крови (и тканей) удивительно быстро меняют активность, приспосабливаясь к новым воздействиям высоты на организм. Так, например, фермент угольная ангидраза, ведающий удалением из организма вредного для него избытка угольной кислоты, на больших высотах резко повышает активность. Так же быстро в условиях высокогорья повышается эффективность другого фермента крови — каталазы. Но все же наиболее типичным следует признать «поведение» такого фермента, как холинэстераза. Активность его при подъеме на высоты до 3000 м возрастает, а выше — резко падает, как бы сигнализируя о том, что в первом случае печень усиленно синтезирует белки, а во втором случае сдает свои позиции.

Жиры — враги высот

Известно, что люди, выполняющие любую мышечную работу в горах, затрачивают гораздо больше энергии, чем в обычных условиях. Известно также, что жиры обладают наиболее высокой энергетической ценностью (1 г жира при окислении в организме дает 9,3 ккал, тогда как при окислении такого же количества белков или углеводов образуется лишь 4,1 ккал). Казалось бы, можно рекомендовать максимально увеличить долю жиров в суточном рационе жителей гор.

Советские ученые внесли ясность и в этот вопрос. Еще в экспериментах с барокамерой было установлено, что «подъемы» на высоты больше 4000 м неизменно ведут к

повышению содержания в крови и к появлению в моче кетоновых тел, притом в тем большей степени, чем на большую высоту совершается «подъем». Кетоновые тела накапливаются главным образом в результате нарушения нормального окисления в организме жиров (вернее, кислот, входящих в состав жиров). Именно кетоновые тела и служат одной из причин возникновения горной болезни. Но чем дольше человек находится в барокамере, тем меньше кетоновых тел обнаруживается в моче. Таким образом, организм как бы привыкает, «акклиматизируется», к новым для него условиям среды. То же самое наблюдается и в естественной обстановке на больших высотах.

Хотя расстройство обмена жиров на больших высотах может носить серьезный характер, устраняется оно обычно сравнительно легко, иногда только правильно организованным питанием. И все же можно принять за аксиому, что пребывание, а тем более любая мышечная работа на значительных высотах и большое количество жиров в рационе несовместимы.

Итак, из трех основных элементов питания — белков, жиров и углеводов мы разобрали два. А как обстоит дело с третьим — с углеводами?

Любишь горы — люби сахар

В горах усиливается потребность организма в углеводах. Чем это объяснить? И мышечная работа, и пребывание на больших высотах (а особенно их сочетание) ведут к снижению уровня сахара в крови. Основная причина этого — своего рода ухудшение работы «управленческого аппарата» нашего тела, ведающего мобилизацией и использованием углеводов. Любопытно отметить, что хотя вообще утомление от работы в горах угнетает мобилизацию углеводов печени, но в некоторых случаях такая мобилизация может усиливаться. Разберемся в этом подробнее.

Как известно, главной химической лабораторией нашего тела является печень. Этот орган выполняет «по совместительству» и другую функцию: служит основным складом, своеобразным депо для сахара, который откладывается здесь в виде особого углевода — гликогена.

«Организация» работы этого склада весьма любопытна. Достаточно ввести в желудок немного сахара — сейчас же уровень содержания его в крови резко повышается.

Чем это объяснить? Ведь сахар еще не успел всосаться в кровь? Оказывается, сахар является мощным раздражителем первых окончаний стенок желудка. Информация о «появлении» сахара в желудке тотчас по первыми путям поступает в кору головного мозга, откуда особый сигнал направляется в печень. Пользуясь военной терминологией, такой сигнал можно расшифровать, как «идет пополнение». Получив эту информацию, печень тотчас же приступает к «разбронированию» складских запасов: гликоген расщепляется, и частички глюкозы поступают в кровь, которая доставляет сахар работающим органам. Благодаря этому вводим в организм небольшого количества сахара можно быстро пополнить энергетические ресурсы организма, усилить мобилизацию углеводов и повысить работоспособность жителя гор.

Мышечная работа в условиях высокогорья требует значительных затрат энергии. Как известно, в обычных условиях источником этой энергии служат окислительные процессы, протекающие в клетках нашего организма при участии кислорода. Но на больших высотах вследствие недостатка «окислителя» образование энергии затрудняется. Каким же путем организм «выходит из положения»?

На помощь приходит фосфорное соединение — аденозинтрифосфорная кислота, или АТФ, о которой подробно говорилось в специальном разделе. Благодаря АТФ даже наиболее уязвимые органы — мозг и сердце — способны некоторое время функционировать в бескислородной среде. Процесс образования АТФ, накопления энергетических запасов в организме происходит непрерывно. И в случае необходимости, при недостатке кислорода, этот резервный источник энергии немедленно приводится в действие. Особенно важен он для обеспечения нормальной работы сердечно-сосудистой системы в условиях высокогорья.

В присутствии кислорода углеводы сгорают до конечных продуктов обмена — углекислоты и воды. В бескислородной же среде в сердечной мышце накапливаются промежуточные продукты, например молочная кислота, к тому же в этом случае в сердце образуется меньше энергии и запасается АТФ. Но когда к сердцу внезапно предъявляются повышенные требования, а это бывает при напряженной мышечной работе в условиях высокогорья, усиленный расход АТФ может в какой-то степени компенсироваться ее

образованием за счет бескислородных превращений углеводов. Однако возможности этого вспомогагельного механизма могут оказаться недостаточными, если кислородное голодание резко выражено и чрезмерно затянулось. Именно поэтому при составлении рационов для людей, работающих в условиях высокогорья, легко усваиваемым углеводам следует уделять большое внимание. Поступление углеводов должно быть постоянным, чтобы организм не «перерасходовал» свои резервные запасы. Нормальный здоровый человек хранит в своей печени (а также в скелетных мышцах) довольно значительный запас гликогена — около 300—400 г. У тренированных спортсменов он может достигать и до 600 г. Однако при восхождениях на большие высоты, а также при работе в горах человек должен ежедневно потреблять 200—250 г сахара. Съесть его следует не сразу, а в течение всего дня: один-два кусочка через каждый час. Это предотвратит наступление углеводного голодания, обеспечит организму необходимые запасы энергии, позволит сохранить нормальную работоспособность.

Итак, в рационе жителя гор углеводы должны занимать важное место. Последние исследования и практика альпинизма отвечают: на долю углеводов должны приходиться две трети (по весу) всего суточного пайка. При этом надо учитывать и то, как организм усваивает различные углеводы. Их «судьба» далеко не одинакова.

Основные пищевые углеводы — крахмал и в меньшей степени гликоген. И крахмал, и гликоген представляют собой сложные вещества — полисахариды. Это, образно говоря, углеводы «замедленного действия». Полисахариды могут усваиваться организмом только после расщепления на более простые частицы, после превращения в глюкозу. На все это требуется определенное время. Если оценивать углеводы по сравнительной скорости их усвоения, то на первое место надо поставить моносахариды (чистую глюкозу), на второе — дисахариды (обычный сахар) и лишь на третье — полисахариды (крахмал, гликоген печени и т. д.). Именно поэтому полисахариды наиболее удобны для накопления углеводов в организме.

Еще выгоднее усиливать поступление углеводов в кровь с помощью комбинации крахмала, обычного сахара и глюкозы. При этом сначала в кровь всасывается глюкоза, принятая в чистом виде, затем глюкоза, образовавшаяся в результате расщепления обычного сахара, и, наконец, глюко-

за из «тыловых» резервов, источником которой служит переваривающийся в кишечнике крахмал. В этом случае на протяжении длительного времени организм получает все новые и новые порции «главного топлива» — сахара.

Мышечная работа на больших высотах может вызывать более резкое, чем в обычных условиях, снижение работоспособности. В этом случае организму необходима «скорая помощь». Лучшим видом такой помощи является прием таблеток глюкозы (еще лучше с витамином С) или кислых леденцов, изюма, шоколада на легкоплавких жирах. Запас таких легко усваиваемых продуктов жителям гор следует всегда иметь при себе. Среди альпинистов они получили даже название «карманного питания».

В целом же в суточном пайке жителей гор углеводов должно быть во много раз больше, чем белков и особенно жиров. Рекомендуются такое соотношение этих элементов питания: 10 : 2 : 1. Так, по данным Эльбрусской экспедиции Академии наук СССР, при пребывании на высоте суточная норма питания должна состоять из 600 г углеводов, 120 г белков, 60 г жиров с общей калорийностью рациона около 3500 ккал.

Целесообразно несколько подробнее рассмотреть общую калорийность питания горных жителей. Следует отметить, что сравнительная ценность пищевых рационов изучалась главным образом на альпинистах. Работа, которую выполняют альпинисты, даже при сравнительно несложных подъемах, по затратам энергии не уступает самым тяжелым видам физической деятельности. Поэтому эти данные вполне могут быть отнесены и к работающим в горах людям самых различных профессий. По данным последних исследований при интенсивной работе в условиях высокогорья человеческий организм затрачивает в час от 600 до 800 ккал.

Казалось бы, решить задачу очень просто — составить суточный рацион такой калорийности, которая будет покрывать эти энергетические затраты. Но дело в том, что на больших высотах над уровнем моря аппетит ухудшается настолько, что «съесть» даже 300 ккал можно лишь с усилием воли.

Как бороться с потерей аппетита на больших высотах? Прежде всего специальным подбором пищи. Наиболее желательны икра, рыбные консервы с острыми, кислыми приправами, обезжиренная ветчина, кислые недозрелые яблоки. Высокопитательным продуктом является сыр, особен-

по острые его сорта. Следует особо подчеркнуть пищевые достоинства хлеба из кукурузной муки, которая содержит специфический белок — ценин, хорошо усваивающийся в условиях даже очень больших (свыше 5000 м) высот.

Ценным пищевым продуктом являются так называемые чурчхелы, изделия из виноградного сока с начинкой из орехов. Высокая питательность этого грузинского национального лакомства связана с тем, что чурчхелы содержат виноградный сахар в сочетании с жирами, белками и витаминами. Чурчхелы приятны на вкус, легко усваиваются и служат отличным средством повышения аппетита.

Высота и витамины

Особое значение в горах приобретают витамины С и В₁.

Витамин С (аскорбиновая кислота) «работает по совместительству» на многих участках обмена веществ в нашем теле. В его присутствии повышается активность целого ряда важных биологических ускорителей химических превращений — ферментов. Этот витамин — неперемный участник и пособник окислительных процессов, а ведь именно в результате окисления вырабатывается энергия, без использования которой немислима любая жизнедеятельность, в том числе и мышечная работа. Биохимики предполагают также, что витамин С непосредственно входит в состав одного из ферментов, ведающего превращениями жиров в усвояемые формы. Он принимает участие и в строительстве межклеточного вещества, как бы спаивающего клетки нашего тела в единое целое, и защищает от окисления (следовательно, и разрушения) один из очень важных гормонов организма — адреналин.

Включаясь в обмен веществ, аскорбиновая кислота как бы помогает течению окислительных процессов, которые всегда более или менее нарушаются в условиях разреженной атмосферы. На сравнительно умеренных высотах этот витамин способствует ускорению акклиматизации в горных условиях. А на больших (3000 м и более) высотах аскорбиновая кислота просто необходима. Горножителям и альпинистам можно смело рекомендовать потребление до 500 мг (десятикратная норма) витамина С в сутки. Ценное свойство аскорбиновой кислоты и в том, что она является витамином «скорого действия», благоприятный эф-

фект которого сказывается уже в первые полчаса после приема. Поэтому прием таблеток аскорбиновой кислоты можно рекомендовать в дополнение к глюкозе как надежное средство восстановления сил в случае утомления при работе на больших высотах.

Благоприятное действие в горах оказывает и витамин В₁. Чем же обусловлено его действие? Как уже говорилось, углеводы — главный источник энергии, расход которой при работе в горных условиях очень высок. А витамин В₁ (тиамин) ведаает очень важным участком обмена углеводов, помогая клеткам тела лучше использовать сахар, поступающий в их распоряжение.

В углеводном обмене принимают участие многие ферменты. Один из них — декарбоксилаза — ведаает декарбоксилированием, отщеплением кислотной группы (карбоксила) от пировиноградной кислоты, одного из важнейших промежуточных продуктов обмена углеводов. Декарбоксилаза — сложный фермент, состоящий из белковой и небелковой части (кофермента). В состав небелковой части и входит витамин В₁. Соединяясь с белковой частью, он обеспечивает ткани организма достаточным количеством декарбоксилазы, которая, расщепляя пировиноградную кислоту, ликвидирует ее избыток, нарушающий нормальное использование сахаров для нужд организма. Следовательно, всякое увеличение количества углеводов в пищевом пайке всегда должно сопровождаться приемом повышенных доз витамина В₁.

Конечно, упомянутыми выше препаратами не исчерпывается список витаминов, потребность в которых при жизни в высокогорье, где на организм действуют биологически важные факторы, заметно увеличивается. Последние исследования показывают, что в горах значительно возрастает потребность в витаминах А, В₁, В₂, РР и С. Очень полезен каротин (им богаты морковь, красный перец, зеленый лук), превращающийся в печени в витамин А, но на очень больших высотах, где рекомендуется щадить печень, предпочтительнее давать витамин А в чистом виде. Вообще на этих высотах приходится пользоваться витаминными препаратами, а не свежими фруктами и овощами.

Горы любят стройных

Перейдем теперь к вопросу о том, какое влияние оказывают горы на обмен влаги и минеральных веществ в нашем организме. Даже непродолжительное пребывание в горной местности, как правило, приводит к потерям лишнего веса. Отсюда можно сделать вывод, что горы любят стройных. За счет чего это происходит?

Ответить на такой вопрос не просто. Известно, что теряя вес, организм избавляется от лишней воды. Достаточно определенных данных относительно изменения содержания воды в крови под влиянием высокогорного климата почти не имеется. Правда, по наблюдениям ряда исследователей пребывание на больших высотах обычно ведет к некоторому сгущению крови. В то же время известно, что содержание воды в крови зависит не только от общего количества ее в организме, но от самых различных причин.

Итак, наблюдающееся иногда на высотах повышение кровяного давления часто сопровождается сгущением крови. Обычно же подъем даже на большие высоты мало влияет на артериальное кровяное давление. Одним словом, изменения водного состава крови — вопрос пока еще недостаточно изученный. О водном же обмене в клетках известно гораздо больше. Отдача воды через легкие благодаря сравнительной сухости и низкой температуре вдыхаемого воздуха обычно повышается. Если на равнинах за счет легочной вентиляции и кожного дыхания организм отдает около 25% ненужной ему влаги, то на высоте 2510 м — уже до 45%, а на высоте 5000 м отдача воды через легкие увеличивается в 2,5 раза. Человек, непривычный к жизни в горах, после недельного пребывания на высоте более 4000 м теряет до 10 кг. Альпинисты же при сложных восхождениях могут терять до 1,5 кг в сутки, в основном за счет усиленного мочеиспускания. Некоторую роль здесь играет, конечно, отсутствие или снижение аппетита, но главная причина потери веса — усиленное выделение влаги из организма. Отдача воды с потом в горах сравнительно меньше, чем на равнине вследствие сухости и низкой температуры воздуха. Ослабление потоотделения наблюдается как в состоянии покоя, так и при мышечной работе.

Полностью предотвратить потери веса на больших высотах не удастся. Но свести их к минимуму можно, соблюдая правильный питьевой режим и включая в рацион та-

кие продукты, которые в горах люди едят охотно. Правильный питьевой режим горпожпгелей заключается в припяти за сутки не более 3 л жидкости, главным образом в виде горячего чая, кофе, супов и сладко-кислых витаминизированных напитков.

С любителями спиртных напитков горы не дружат. На больших высотах безобидные в условиях низменности количества алкоголя вызывают отравление. Прием алкоголя на значительной высоте способствует появлению весьма неприятной горной болезни, о которой будет сказано ниже.

Что касается минеральных солей, то особых изменений в «минеральном хозяйстве» (тесно связанном с водным режимом) организма, находящегося в условиях высокогорья, не наблюдается. Этот вопрос, однако, пуждается в дальнейших углубленных исследованиях. Имеется ряд очень важных элементов, например медь или цинк, которые входят в состав ферментов и поведение которых на высотах еще малоизвестно. Все минеральные вещества в той или иной степени необходимы для организма, по потребность в них для условий высокогорья (особенно при восхождениях) в достаточной мере не изучена. Можно лишь сказать, что при восхождениях и работе на больших высотах потребность организма в фосфоре и поваренной соли повышается. Это надо учитывать при составлении пайка.

Установлено, что мышечная работа и запягия спортом повышают потребность в фосфоре. Выше уже шла речь о сходстве между действием на организм высокогорья и физической нагрузки. Этим, по-видимому, и объясняется увеличение в горах потребности в фосфоре. Дело в том, что мышечная работа даже на сравнительно умеренных высотах сопровождается увеличением мышечной массы (прирост белка) и содержания в ней таких важных фосфорных соединений, как АТФ и ряд других веществ. Фосфор в первую очередь нужен как своего рода строительный материал. Но это только одна сторона вопроса. Другая заключается в том, что любая интенсивная работа, особенно в горах, ведет к усилению расходования фосфора организмом. Тут существует прямая закономерность: чем интенсивнее работа, тем больше выделяется фосфатов (фосфорнокислых солей) с мочой. Почему это происходит?

Дело в том, что органические соединения фосфора в нашем организме очень неустойчивы, они легко распадаются

и легко ресинтезируются, т. е. образуются вновь. Вспомним биологический смысл этого явления, о котором уже говорилось: фосфатные связи являются источником энергии для мышечной работы и других видов жизнедеятельности организма. Но в условиях недостатка кислорода в организме разрушающиеся при работе органические фосфорные соединения «не успевают» ресинтезироваться. Что же при этом происходит? Непользованные неорганические фосфаты накапливаются в крови, а оттуда переходят через почки в мочу и теряются для организма.

При длительной тяжелой работе ткани нашего тела становятся расточительными и расходуют большие количества фосфатидов (органических соединений фосфора). Происходит как бы «изнашивание» тканей, в свою очередь сопровождающееся потерей фосфора. Значит ли это, что в рацион горножителей следует включать продукты, богатые фосфором? Да, но с одной оговоркой. Нельзя забывать, что обмен фосфора в нашем теле тесно связан с обменом кальция и магния. Фосфор и кальций лучше всего усваиваются, когда их соотношение в суточном пайке составляет 1:5. Эти минеральные вещества можно принимать в виде лекарственных препаратов. Но еще лучше продуманно подобрать продукты питания, зная, например, что фосфором богаты мясо, сыр, яичный желток, кальцием — хлеб, сыр, яичный белок (особенно хорошо усваивается кальций хлеба), магнием — сыр, шоколад. Особое место в меню горножителей должен занимать яичный желток, так как он богат не только фосфором, но и железом. А железо — одна из важнейших составных частей пигментных веществ нашего тела — гемоглобина, о котором мы уже говорили, и миоглобина — пигмента скелетных мышц.

Миоглобин — младший брат гемоглобина, также обладающий способностью связывать и отдавать кислород. Отличия миоглобина от гемоглобина крови настолько невелики, что и по настоящее время некоторые исследователи называют его мышечным гемоглобином. Миоглобин можно рассматривать как «примитивный» дыхательный пигмент, который играет в мышцах роль кратковременного резерва кислорода и является частью системы, транспортирующей этот газ в организме. Причем он насыщается кислородом при более низком его давлении, чем гемоглобин. Однако более определенных сведений о «поведении» миоглобина в горах пока еще не накоплено.

Зато другой пигмент — цитохром, входящий в состав всех клеток нашего организма, ведет себя в горах очень определенно. Цитохромы служат посредниками между кислородом и различными веществами клеток нашего тела. Но в условиях высокогорья, участвуя в процессах использования кислорода клетками нашего тела, они не могут работать «с полной отдачей». Попытки использовать какие-либо препараты для устранения вредного действия недостатка кислорода на больших высотах пока не увенчались успехом.

Есть еще один пигмент в нашем теле, особенности изменений которого на больших высотах давно уже заинтересовали ученых. Речь идет о билирубине, который придает желчи золотисто-желтую окраску. Этот пигмент — потомок гемоглобина, о роли которого мы уже достаточно говорили. Билирубин содержится не только в желчи, но и в крови. Причем повышенное его содержание в крови может быть вызвано разными причинами: интенсивным распадом эритроцитов, плохой работой печени — основного органа, ведающего выведением билирубина из нашего тела, и закупоркой путей, выводящих желчь.

На больших высотах, как известно, распад эритроцитов увеличивается (да и работа печени также ослабляется). Поэтому содержание билирубина в крови обычно повышается. Весьма вероятно, что этот пигмент стимулирует образование молодых эритроцитов в условиях высокогорья. Это один из многих путей, которые используются нашим организмом для приспособления к непривычным для него условиям высокогорья.

Но пойдем дальше. Читатель уже ознакомился с воздействием высоты на наиболее важные биохимические механизмы нашего организма. Теперь расскажем о том, как эти воздействия используются в современной медицине.

Рецепт — высота

Лечение горным климатом представляет специальную отрасль медицины — горную климатотерапию. Многовековые традиции имеются в лечении больных туберкулезом. Издавна было замечено, что в горах умеренной высоты эти больные поправляются успешнее, чем на низменности. На первый взгляд это кажется парадоксальным. В самом деле, все больные туберкулезом легких страдают в той или

инной степени от недостатка кислорода, так как их легкие не могут работать в полную силу. В то же время лечение в горных местностях, в условиях определенной кислородной недостаточности, зачастую очень помогает таким больным. В чем же дело?

Многолетние исследования, проведенные в условиях всесоюзной здравницы — курорта Абастумани, — показали, что в организме больных, прибывших на этот курорт, происходит перестройка обмена веществ и притом обычно в две фазы. Первую фазу можно назвать «аварийной», так как в этот период приспособление организма к условиям горного климата происходит за счет быстро мобилизуемых резервных сил — повышается количество красных кровяных шариков — эритроцитов, процентное содержание гемоглобина в крови и т. д. Эти быстро наступающие изменения, как правило, носят нестойкий характер.

Однако в дальнейшем процессы приспособления приобретают устойчивость, происходит перестройка обмена веществ во всех тканях. Наиболее важным и характерным является изменение деятельности ферментов. (От их активности, как уже говорилось, зависит уровень окислительных и других жизненно важных химических процессов в организме.) Такая перестройка длится обычно около двух месяцев. Она приводит к весьма благоприятным для организма результатам, притом настолько стойким, что этот благоприятный уровень обычно сохраняется (в известной степени) в течение ряда месяцев и после возвращения с гор.

Эти сдвиги происходят под регулирующим воздействием коры головного мозга — высшего отдела центральной нервной системы. Поэтому все, что укрепляет и нормализует деятельность нервной системы в целом, — соответствующий санаторный режим, питание и даже успокаивающее воздействие красного пейзажа — способствует улучшению лечения в горах, делает его более эффективным.

Можно ли рекомендовать лечение в горах при всех формах легочного туберкулеза? Богатый арсенал лекарственных средств, которыми располагает современная медицина, позволяет успешно лечить таких больных и в условиях равнины. Собственно говоря, врачи единодушны в мнении, что больных туберкулезом можно лечить всюду. Это утверждение считается бесспорным. И все же лечение в горах протекает успешнее.

Почти все больные туберкулезом легких страдают от недостатка кислорода вследствие нарушения нормального дыхания в отдельных участках легких. Исследуя химический состав крови и мочи таких больных, удается установить, что механизм развития кислородного голодания тканей может быть различным. В зависимости от этого необходимо применять различные способы лечения. Практика показывает, что лишь в некоторых случаях, при особенно тяжелых формах туберкулеза, характер уже имеющегося кислородного голодания тканей таков, что переход в условия горного климата не облегчит состояния больного. В подавляющем же большинстве случаев климат гор оказывает благоприятное влияние на результаты лечения. Причины этого, по-видимому, кроются в той благоприятной перестройке в обмене веществ, которая наблюдается на умеренных высотах. Нередко задают вопрос: если в горах наблюдается повышенная толерантность (выносливость) к сахару, не использовать ли это обстоятельство для лечения больных диабетом? Попытаемся сначала разобраться в природе этого заболевания.

Что такое сахарный диабет? Прежде всего эта болезнь выражается в расстройстве обмена веществ. Больной организм не может полностью усваивать пищу, в первую очередь углеводы, вследствие чего они выделяются с мочой в виде сахара, иногда в значительных количествах (литр мочи может содержать до 100 г сахара). А ведь в моче здорового человека сахара очень мало (около грамма в литре). Заметно повышается при диабете и содержание сахара в крови, которое у здорового человека всегда остается на строго определенном уровне (около грамма в литре). Все это происходит потому, что при диабете нарушается ход химических процессов, обеспечивающих жизнедеятельность организма. Огромное значение для правильного течения этих процессов имеют нервная система и так называемые железы внутренней секреции, выделяющие в кровь гормоны. Роль этих веществ чрезвычайно велика. Одна из важнейших желез внутренней секреции — поджелудочная — при диабете претерпевает значительные изменения, в результате которых она вырабатывает меньше инсулина. О том, как лечат сахарный диабет в обычных условиях, говорится на стр. 233.

Ну, а в горах? Можно ли считать, что высокогорье служит оздоровительным фактором при лечении диабета? Да,

действительно, в горной местности, особенно на больших высотах, наблюдается тенденция к снижению содержания сахара в крови. Но одного этого для лечения сахарной болезни недостаточно. Ведь механизм болезни весьма сложен, и появление сахара в моче, повышение его содержания в крови — не причина, а следствие.

В прежнее время при лечении диабета считалось достаточным привести к норме содержание сахара в жидких тканях организма. Для этого прибегали к простому приему: исключали из рациона больных большую часть продуктов, содержащих углеводы. Но такой метод хотя и ликвидировал отдельные симптомы заболевания, счесть часто приводил к сильному истощению больного. Сейчас, когда известно, что диабет связан с расстройством не только углеводного, но и жирового, водного, а также азотистого обменов, пациентам (в зависимости от состояния) дают от 200 до 500 г углеводов в сутки и тщательно следят за распределением рациона по времени в течение дня. Пища должна поступать в организм в то время, когда в нем выделяется (или в него вводится искусственно) максимальное количество инсулина. Инсулин в данном случае должен оказывать лечебное, регулирующее действие не только на углеводный, но и на все другие виды обмена¹.

Если в горах переносимость² к сахару улучшается, то этого нельзя сказать, например, о жировом обмене. На средних высотах нередко наблюдается повышение содержания холестерина в крови, а на больших — страдает и азотистый обмен. Кроме того, в горах, как уже говорилось, нередко нарушаются функции печени, что совершенно недопустимо при сахарной болезни. Поэтому лечение больных диабетом в условиях высокогорья требует особой осторожности. Но в то же время на горных курортах малой высоты, например в Боржоме (около 800 м над уровнем моря), с успехом лечат больных сахарным диабетом. Однако основную роль здесь играет не высота, а другие сопутствующие ей явления: мягкий климат, минеральная вода, солнце.

¹ Современная медицина располагает и другими способами лечения больных диабетом. Удалось создать целый ряд препаратов эффективного действия. К ним относятся бутамид и другие средства, которые можно принимать только по назначению врача.

² Переносимость («толерантность») к сахару определяется тем количеством его, которое человек может принять, не вызывая этим каких-либо расстройств в обмене веществ.

Таким образом, несмотря на то, что горы средней и большой высоты в целом благоприятно влияют на усвояемость углеводов, считать их на этом основании, как говорят медики, особо показанными для лечения диабета нельзя. Но несомненно и другое. Горное солнце, богатое ультрафиолетовыми лучами, тишина и покой, воздух умеренных высот, богатый кислородом, но лишенный пыли и других вредных примесей, не могут не оказать благоприятного влияния на здоровье, обязательно станут союзниками врачей при лечении многих заболеваний.

Когда горы вредны

Горы не всегда благотворно влияют на наш организм. И это сказывается уже на умеренных высотах. Как мы уже упоминали, для горного климата в первую очередь характерна недостаточность кислорода. Эти условия плохо переносятся многими больными (в первую очередь сильно ослабленными). Горы предъявляют специфические требования к сердечно-сосудистой системе. Поэтому многим больным (гипертоническая болезнь, инфаркт миокарда, атеросклероз) пребывание в горах не всегда показано.

Есть еще одно обстоятельство «не в пользу» гор. Мы уже отмечали, что пребывание даже на умеренных высотах иногда повышает содержание в крови холестерина. Не исключено, что в этом повинны ультрафиолетовые лучи, которыми так богато горное солнце, хотя точная причина явления еще не выяснена. Но чем бы ни вызывались такие изменения крови, высокий уровень холестерина в крови, в особенности, если он держится длительное время, всегда пастораживает врача, ибо холестерин давно подозревается как «пособник» атеросклероза. Причины возникновения атеросклероза, конечно, не только в холестерине, но «держать» его уровень в определенных границах все же рекомендуется.

Но самой главной опасностью, подстерегающей человека на больших высотах, является горная болезнь. В чем она проявляется? Симптомов этого заболевания много, они возникают на различных высотах и сказываются по-разному. Чаще всего при ней затрудняется дыхание, начинается головная боль, появляется апатия, безразличие, стук в висках, теряется аппетит, возникает тошнота, а иногда и рвота, резко меняется вкусовое восприятие. На больших высо-

тах сердце начинает биться неравномерно: его сокращения то ускоряются, то замедляются. В некоторых случаях нарушается кровообращение, появляются отеки на ногах, перебои пульса, возникают кровотечения из носа и т. д.

На очень больших высотах меняется даже поведение человека, он становится более возбудимым. (Одним из первых это отметил академик АН УССР Н. Н. Спротляпп.) Возбужденное состояние проявляется в более оживленных движениях, большей склонности к жесткуляцип, несколько ускоренной речи, нередко в беспричинном смехе. Эти явления, давно знакомые альпинистам, объясняли по-разному. Предполагалось, что на психику действует величественная картина гор, трудности восхождения, особые метеорологические условия и другие факторы. Теперь, однако, установлено, что и на «средних высотах» (в барокамере), где действует только пониженное атмосферное давление, могут наблюдаться подобные же явления, лишь менее отчетливо выраженные. Таковы общие признаки горной болезни. На каких же высотах они проявляются?

Первые отклонения от нормы могут наблюдаться уже на сравнительно небольших высотах (1000—2000 м), но обычно до 3000 м организм справляется с недостатком кислорода в атмосфере за счет своих компенсаторных реакций. Явные патологические симптомы развиваются обычно на высоте 4000—4500 м.

Интенсивность этих явлений может в значительной мере меняться в зависимости от способа подъема. При подъеме на горные высоты по какатной дороге они появляются примерно при том разрежении атмосферы, которое наблюдается в барокамере. В этом случае обычно симптомы горной болезни достаточно ярко проявляются на высоте 5000 м. При подъеме в горы верхом ясно выраженная горная болезнь развивается на высоте 4500—5000 м, при пешем подъеме у большинства неакклиматизированных людей — на высоте 4000—4500 м. Горной болезни подвержены все возрасты. В старческом возрасте от горной болезни страдают несколько больше, но лишь в связи с сердечно-сосудистыми заболеваниями, которые обычны в этом возрасте.

В основе симптомов горной болезни лежит кислородное голодание. Так, воздействие разреженного воздуха и сниженного атмосферного давления вызывает учащение дыхания, изменение его глубины и увеличение объема легочной

вентиляции. (Легочная вентиляция—количество воздуха, проходящего через легкие за единицу времени.)

По мере падения парциального давления кислорода отделы головного мозга, управляющие дыханием, образно говоря, наращивают его мощность, чтобы через альвеолы легких проходило возможно большее количество воздуха. Мы уже говорили, что до определенной высоты резерв работоспособности легких компенсирует недостаток кислорода. Но увеличение легочной вентиляции имеет и свои отрицательные стороны. При чрезмерной, или гипервентиляции организм человека теряет много углекислоты. Это приводит к ощелачиванию внутренней среды. Это состояние получило название газовой алкалоза.

Наш организм не любит крайностей—ни чрезмерного подкисления—ацидоза, ни избыточного ощелачивания—алкалоза. Естественно, что в последнем случае возникает потребность в кислых веществах, подавляющих алкалоз. Академик АН УССР Н. Н. Спротиния для предупреждения сильного ощелачивания организма на больших высотах с успехом применял лимонную кислоту. Сейчас лимонная кислота нашла самое широкое применение в практике альпинизма. Чаще всего ее применяют в виде кислой смеси, в состав которой лимонная кислота (0,5 г) входит вместе с витамином С (0,5 г) и глюкозой (50 г). Разумеется, такая кислая смесь является только одним из средств предупреждения горной болезни.

При подъемах на большие высоты по канатной дороге или во время проведения работ в местах, хорошо обеспеченных механическим транспортом (в этом случае доставка к месту работ тяжелых баллонов не вызывает затруднений), весьма эффективна так называемая кислородная профилактика—периодическое вдыхание кислорода или еще лучше карбогена (смесь кислорода с газообразной углекислотой).

Аклиматизация в течение двух-трех месяцев в условиях высокогорного климата заметно увеличивает выносливость к кислородному голоданию. При таком методе предупреждения высотной болезни организм приспособливается к высокогорному климату не только за счет увеличения числа эритроцитов, но и благодаря увеличению жизненной емкости легких, глубины дыхания, ударного объема сердца. Но, к сожалению, акклиматизация требует значительного времени. Среди профилактических мер следует упомя-

путь и использование тонизирующих веществ, стимуляторов, психотерапию и психопрофилактику.

Известно, что восприимчивость к горной болезни во многом зависит от состояния центральной нервной системы, степени ее подготовленности к пребыванию на больших высотах. Болезнь чаще возникает у лиц, которые впервые поднимаются в горы, сильнее воздействует на туристов, идущих без инструкторов или опытных альпинистов. Плохой сон, беспокойство, тревога, неустойчивое состояние психики также увеличивают процент заболеваний. Боязнь горной болезни всегда способствует ее появлению, независимо от каких-либо изменений в организме можно вызвать у себя одним лишь самовнушением это патологическое состояние. Поэтому для предупреждения и лечения горной болезни многие специалисты рекомендуют применять препараты, успокаивающие или, в случае необходимости, возбуждающие нервную систему.

Хорошие результаты дает также метод внушений. Он очень прост. Опытный горовосходитель, пользующийся большим авторитетом, в коллективных и индивидуальных беседах объясняет, как правильно вести себя в горах, чего не следует и что следует делать для того, чтобы преодолеть все трудности восхождения. Деятельность руководителя во время самого восхождения должна быть направлена на поддержание бодрого настроения у всех участников экспедиции. Такая психопрофилактика, по имеющимся данным, резко снижает процент возникновения горной болезни.

В целом же рациональное применение различных средств профилактики достаточно эффективно помогает достижению наибольших высот и способствует сохранению работоспособности в горах. Можно не сомневаться, что исследования, ведущиеся в настоящее время, не только создадут предпосылки для дальнейших успехов отважных альпинистов, помогут жить и работать в горах строителям и геологам, астрономам и чабанам, но и многое откроют для современной медицины.

Действие лекарств

Что такое лекарство? Казалось бы, это известно каждому из нас. Одно средство действует как жаропонижающее, другое улучшает сердечную деятельность или успокаивает расхрипевшиеся нервы. Но можно ли это назвать «действием» лекарства? Именно так думали медики в древности. Но подлинный механизм действия лекарства им не был известен. Он стал раскрываться лишь после того, как в середине прошлого века возникла экспериментальная медицина.

Еще в XVIII в. в арсенале лекарств числились многочисленные не только бесполезные, но просто вредные для здоровья вещества. В течение XVIII в. было создано лишь пять действительно полезных лекарств, иными словами, для открытия одного такого лекарства требовалось два десятилетия. А в последнее десятилетие XIX в. появилось почти 20 новых эффективных средств — в 40 раз больше! В наши дни лекарства создаются быстрее. Причина успеха в том, что ученые постепенно раскрывают механизм действия лекарств на организм. Они стремятся к глубокому изучению закономерностей микромира, к познанию интимных химических процессов, происходящих в клетках организма, и тех изменений, которые вызывают ворвавшиеся сюда молекулы лекарственного вещества. Современная наука сумела в ряде случаев разгадать, что происходит «в точке приложения» лекарственного вещества в живой клетке и в органах.

Любая болезнь — общее поражение всего организма, но каждая болезнь имеет и свои особенности, затрагивает преимущественно тот или иной орган. Так, например, рак печени — общее заболевание всего организма, хотя опухоль развивается сначала в одном определенном органе — пече-

ни. А так как жизнедеятельность всего организма осуществляется на основе обмена веществ, включающего огромное количество взаимосвязанных химических превращений с участием ферментов, то естественно ожидать, что действие лекарственных веществ в большинстве случаев зависит от их действия на ферменты, от их вмешательства в химизм нашего тела. Почти в течение 100 лет химики и фармакологи, изучающие действие лекарств на организм, пытаются установить точную зависимость между химическим строением веществ и его лекарственным действием.

Почему это так важно? А потому, что, решив этот вопрос, фармацевты сумеют готовить вещества, заранее зная, какими лекарственными свойствами они будут обладать. Многие в этом направлении уже сделано, но еще больше остается сделать. Одна из главных трудностей — те «сюрпризы», которые встречаются при изучении лекарственных свойств многих химических веществ.

Если архитектор, строящий дом, устроит балкон на третьем этаже вместо второго — основные свойства дома от этого не изменятся. Он будет так же служить кровом для людей, выполняя свое назначение. Попробуем в молекуле никотиновой кислоты один и тот же «балкончик» (бокковую группу атомов) слегка переместить «на один этаж ниже», и она сразу потеряет свои свойства, превратившись из сильного противотуберкулезного средства в совершенно лишнее лечебное средство соединения.

Другой пример. Наркотики — виадрил и сульфат магния, совершенно различные и по величине молекулы и по химическому строению вещества, оказывают одно и то же наркотическое действие. Вот тут и разберись! И все же ученым удалось наметить некоторые закономерности, позволяющие связать химическое строение веществ с их лекарственными свойствами. Одно из главных направлений здесь подсказано самим организмом.

В реакциях обмена веществ в организме очень много участников. Эти химические вещества принято называть метаболитами (от слова «метаболизм» — обмен веществ). У исследователей возникла идея готовить такие соединения, которые похожи на метаболиты по своему химическому строению и свойствам. Такие «аналоги метаболитов» (они встречаются и в самом организме), могут действовать как метаболиты, но чаще всего они «враждуют» с ними. В этом случае они антагонисты («антиметаболиты»),

так как вытесняют метаболиты из той или иной биохимической реакции и тем самым тормозят процесс.

Идея оказалась чрезвычайно удачной и ее разработка дает прекрасные результаты. Антиметаболиты готовятся сейчас для лекарственных целей в большом количестве. Очень важно, что антиметаболиты довольно часто влияют на обмен веществ только в некоторых организмах. Это обстоятельство удалось использовать для борьбы с болезнетворными микробами, о чем будет рассказано в главе о противомикробных средствах. Одно и то же вещество может быть антагонистом разных метаболитов, и следовательно, может действовать на разных фронтах. Иногда антиметаболиты отказываются «от лобовой атаки» и действуют косвенно, устраивая своеобразные ловушки для нормальных метаболитов, что можно использовать, например, для лечения опухолей.

Конечно, есть лекарственные вещества, действие которых проявляется не химическими, а иными путями. Некоторые лекарства действуют на физические свойства клеток организма, например делают оболочки этих клеток проницаемыми для тех или иных веществ. Есть и другие способы действия лекарств. Вообще механизм действия лекарственных веществ во многом еще не изучен, во многих случаях приходится довольствоваться пока догадками. В этой главе особое внимание будет уделено химическим механизмам, т. е. тем случаям, когда лекарственное вещество вступает в химическую реакцию с составными частями тканей или жидкостей организма. Что же представляет собой лекарство? Лекарственное средство — это вещество, используемое для воздействия на организм в целях предупреждения или лечения болезни.

Каждый врач, назначая лекарство, учитывает те изменения, которые оно должно вызвать в организме. Эти изменения могут проявиться на месте введения лекарства. Часто таким «местным эффектом» и ограничивается действие лекарства на организм. (Оно, конечно, может всосаться в кровь, но в таких количествах, которые не способны вызвать иной эффект.) В другом, более распространенном случае лекарство всасывается в кровь, которая разносит его к различным органам и тканям, здесь лекарство вступает в химические реакции и затем выделяется из организма в измененном или неизменном виде. Когда лекарство после всасывания распределяется по организму, его действие называют общим, например, сон после приема снотворных.

Наконец, действие лекарства может проявиться и в том, что оно на месте введения или после всасывания в кровь раздражает окончания чувствительных нервов (подобно тому приблизительно, как раздражает их укол булавки или прикосновение к горячей спичке). Это раздражение воспринимается высшими нервными центрами, и эффект его может обнаружиться в любом органе независимо от того, взаимодействует ли он с лекарством. Такой эффект называют «рефлекторным» действием лекарства (например, возбуждение дыхания, когда дают понюхать нашатырный спирт). Лекарство может оказывать прямое (первичное) действие или косвенное (вторичное). Например, сердечное средство, не обладающее мочегонными свойствами, улучшает работу сердца; это его первичное действие. Но улучшение кровообращения у такого больного влечет за собой усиленное выделение жидкости почками. В этом случае мочегонное действие этого лекарства будет вторичным.

Какова же роль лекарства в восстановлении нарушенного здоровья? Остановимся в качестве примера на сахарном диабете.

Прежде всего врач назначает такому больному полноценное питание, учитывая индивидуальные особенности его организма и выполняемую им работу. Если организм больного не в состоянии усвоить все потребляемые им вещества, врач прибегает к впрыскиваниям инсулина. Это мощное средство для лечения сахарного диабета, обеспечивающее нормальную жизнедеятельность организма и сохраняющее больному трудоспособность. Иногда у больных сахарным диабетом начинает плохо работать печень, из которой в кровь при этом поступают продукты несовершенного, неполного распада жиров и белков — кетоновые тела. Это явление связано с недостатком выделения поджелудочной железой в кровь другого гормона — липокаина. В этих случаях врач назначает больному прием липокаина.

Чего же добивается врач, назначая больному эти лекарственные средства? Он возмещает организму химические вещества, утрата или недостаток которых является одной из главных причин нарушения здоровья.

Рассмотрим в качестве примера другую тяжелую болезнь. Сколько мучительных переживаний выпадает на долю молодой матери, когда ребенок заболевает спазмофильей — болезнью, проявляющейся в основном в виде судорог. Чаще всего это заболевание проявляется у детей с лег-

ко возбудимой нервной системой, страдающих более или менее выраженным рахитом. При спазмофилии, так же как и при рахите, отмечается нарушение обмена фосфора и кальция, развившееся в результате недостатка в организме витамина Д. И в этом случае врач, назначая ребенку витамин, возмещает организму недостаток этого регулятора минерального обмена.

Действительно трудно сказать, чем же отличается лекарство от пищевого вещества. Ведь при лечении рахита или спазмофилии витамином Д, цинги витамином С, полиневрита (воспаление первых стволов) витамином В₁ или злокачественного малокровия (пернициозной анемии) витамином В₁₂ врач фактически вводит обычные пищевые вещества, которые должны содержаться в нашем пищевом рационе. Обычно мы и не замечаем, что поглощаем столько лекарственных средств с пищей, потому что у здорового, нормально питающегося человека нельзя выделить действие какого-либо отдельного пищевого вещества на жизнедеятельность организма.

Но вот перед нами житель одной из колониальных стран, дневной рацион которого состоит из нескольких горстей очищенного (не содержащего витамин В₁) риса или же алкоголь, получающий полноценное питание, но у которого благодаря злоупотреблению алкоголем нарушено всасывание витамина В₁ из желудочно-кишечного тракта в кровь. Одышка, стеснение в груди, отеки голеней, потеря аппетита, тошнота, общая слабость, утомляемость при ходьбе, сверлящие боли по ходу нервов. Сделаны анализы мочи и крови: в моче значительно уменьшено содержание витамина В₁, в крови повышается количество пировиноградной кислоты. По этим признакам врач ставит диагноз В₁-авитаминоза¹.

В настоящее время выяснено, что недостаток витамина В₁ (тиамина) отражается в первую очередь на обмене углеводов в тканях организма. В этом процессе принимают участие многие ферменты. Один из этих ферментов — декарбоксилаза — ведает декарбоксилированием (отщеплением кислотной группы — карбоксила) пировиноградной кислоты — одного из важнейших промежуточных продуктов

¹ Заболевание, вызванное полным отсутствием витаминов в пище, называют авитаминозами, а более легкие заболевания, вызываемые только недостатком, а не полным отсутствием витаминов в пище, — гиповитаминозами.

обмена углеводов. В состав небелковой части (кофермента) декарбоксилазы входит тиамин (витамин В₁). Следовательно, когда врач назначает такому больному препарат витамина В₁ в виде лекарства, он вмешивается в самую гущу химических превращений углеводов в тканях. Тиамин, соединяясь с белковой частью, обеспечивает тканям организма достаточное количество фермента декарбоксилазы, который, расщепляя пировиноградную кислоту, устраняет скопления излишних количеств этого вещества, нарушающие нормальный ход превращений углеводов.

Как же действуют препараты тиамин в этом случае? Как пищевое средство или как лекарственное вещество? Ученые отвечают: как лекарство. Ведь в данном случае тиамин проявляет лечебный эффект, восстанавливает утраченное здоровье. Если ввести такое же количество тиамин в здоровый организм, не наблюдается никакого эффекта. Таков химический механизм действия тиамин.

Довольно часто лечебный эффект лекарственного вещества проявляется в том, что оно обезвреживает вещество (или паразита), являющееся если не главной, то одной из причин заболевания. К лекарствам такого рода можно отнести всем известные сульфаниламидные (сульфамидные) препараты: норсульфазол, фталазол, сульфадимезин и многие другие. Все они — производные белого стрептоцида (сульфаниламида). Эти препараты, обладая прогномикробным действием, не вызывают непосредственной гибели микробов, но обладают, пожалуй, не менее ценным свойством задерживать рост и размножение микробов, подавлять их жизнедеятельность, т. е. оказывают бактериостатическое действие.

Выдающийся ученый, создатель ряда замечательных лечебных препаратов П. Эрлих мечтал о «волшебной пуле», которая могла бы уничтожить возбудителей болезни в теле человека, не повреждая его органов и тканей. Но даже Эрлих, крупнейший биохимик своего времени, не мог мечтать о том, что наука разгадает интимнейший химизм таких настроений человека, как страх, горе или радость, и даст врачу в руки химический способ управлять такими состояниями, менять их по своему усмотрению¹.

¹ Мечты Эрлиха о «меткой пуле» относятся к области антимикробной терапии (химиотерапии), а приводимый ниже пример — к фармакотерапии (лечение организма).

Сложное химическое вещество адреналин и близкий ему по составу и действию порадреналин давно уже интересуют биохимиков и физиологов. Ученые установили, что этот гормон выбрасывается в кровь надпочечными железами в чрезвычайно больших количествах в связи с различными переживаниями. В наше время удалось установить, что можно даже говорить об «адреналиновой» тоске, страхе или горе, поскольку эти отрицательные переживания всегда связаны с повышенным в крови содержанием адреналина.

Кора нашего мозга состоит из 15 млрд. нервных клеток. Имеются все основания считать, что кора содержит миллионы клеточных группировок, отличающихся особенностями химизма и относящихся по-разному к действию различных лекарственных веществ. Механизм действия амназина заключается в данном случае в том, что он разрушает избыток адреналина в некоторых мозговых клетках и тем самым устраняет чувства тоски и страха, успокаивает человека и даже может создать ему радостное настроение.

У человека есть враг номер один — рак, злокачественная опухоль, обладающая способностью к безграничному росту до тех пор, пока она не становится причиной смерти пораженного ею человека. Химия опухолей изучена хорошо. Медики уже готовят такие химические вещества, которые, связывая нуклеопротеиды опухолей, ломают обмен веществ опухолевой клетки и этим вызывают ее гибель. Очевидно, недалеко то время, когда человечество избавится от этой грозной болезни.

Велика роль лекарственных средств — верного помощника врача в борьбе с тем или иным заболеванием. Но у лекарств имеются и свои отрицательные стороны. Прежде всего следует назвать побочное действие многих лекарственных средств, выражающееся в горьком вкусе (например, хинина или синтомицина) или в боли при внутримышечном впрыскивании. Сюда относится также вредное, токсическое действие некоторых лекарств, если больной получает их в повышенной дозе. Такое действие можно наблюдать иногда и при обычной дозировке, когда организм не успевает своевременно выделять или разрушать принятое лекарство. Отрицательным последствием приема лекарств можно считать и привыкание к ним различных микробов. Появление устойчивых к действию лекарств-

ных средств микробов является в ряде случаев большой помехой в борьбе с тем или иным заболеванием.

Среди невидимых врагов нашего организма первое место занимают вирусы. Кому неизвестен грипп, полиомиелит, оспа, корь, бешенство и другие болезни, вызываемые вирусами. А причастность вирусов к такому бичу человечества, как рак, у ряда ученых не вызывает сомнений. Что такое вирус — существо или вещество? Этот спор между учеными не окончен и в наше время. Займем нейтральную позицию и будем считать, что вирусы находятся на грани между живой и неживой природой. Одну особенность вирусов мы знаем — они не могут существовать вне живой клетки. Своим правом на существование они захватывают насильственным образом — нападая на клетку и вызывая ее гибель. Как происходит это нападение?

Главное в вирусе — нуклеиновая кислота. Именно она обеспечивает способность вируса к размножению, она — носитель информации, лежащей в основе наследственности, способности вируса передавать свои видовые особенности потомству. И вирус тщательно оберегает свою нуклеиновую кислоту, заключая ее в особый белковый футляр. Когда вирус нападает на клетку — эта оболочка ему мешает, он сбрасывает ее с себя и в клетку проникает только его нуклеиновая кислота. Ее главная задача — дезорганизовать жизнедеятельность клетки, захватить ее штаб, управляющий строительством внутри клетки. А главное в этом строительстве — работа ферментов, осуществляющих синтез белка. Таких ферментов вирус не имеет, он не может размножаться и поэтому должен заставить клеточные ферменты работать на себя.

Как это сделать? Прежде всего — воспользоваться уже существующей в клетке системой рассылки информации в различные участки строительства белка. Но почтальоны клетки — ее информационные РНК — не будут работать на «чужеземного» захватчика. И вирус заменяет их, он останавливает в захваченной клетке синтез информационных РНК и заставляет клеточные ферменты подчиняться приказам своей собственной, вирусной нуклеиновой кислоты. Теперь клетка становится фабрикой, осуществляющей синтез новой, т. е. вирусной, нуклеиновой кислоты, вирусного белка и вируса в целом.

Конечно, сказанное выше — это только общие черты того, что происходит в живой клетке при нападении на

нее вируса. Вирусы многообразны и пути их воздействия на клетку могут различаться в деталях.

Разрушительное действие лекарственных средств на микробов также может привести к обострению болезни. Дело в том, что организм в этих случаях может быть наводнен ядовитыми веществами (эндотоксинами), освобождающимися из погибших микробов.

Но лекарства могут иметь неприятные последствия и другого характера. Как ни странно это звучит, они могут сами вызывать заболевание организма, которое так и носит название: лекарственная болезнь. Эта болезнь была известна еще в далеком прошлом. Давно уже было замечено, например, что у больных, принимающих йод или бром, может появиться на теле сыпь. В настоящее время природа лекарственных болезней изучена хорошо. Врачи знают, у таких больных или выздоравливающих можно чаще всего встретиться с явлением непереносимости в отношении того или иного лекарства и, что самое главное, могут не только лечить, но и предупреждать возникновение лекарственной болезни, последствия которой иногда могут быть очень тяжелыми.

Все сказанное выше убеждает нас в том, что безразличных, совершенно безвредных для организма лекарств почти нет. Лекарства, которые мы, к сожалению, очень часто сами назначаем себе или членам семьи и иногда длительно и повторно принимаем (особенно спонтанные и средства против головной боли) могут принести вред. Поэтому лучше всегда посоветоваться с врачом во избежание неприятных последствий, так как они иногда могут быть губительными. Сколько детей погибло в результате того, что родные, желая прочистить желудок ребенку, жалующемуся на боли в животе, не посоветовавшись с врачом, давали ему слабительное, а это очень опасно, если причина болей — аппендицит, распознать который у детей нелегко даже врачу.

Следует твердо помнить, что лекарство само по себе — еще не целебное средство. Надо знать, как им пользоваться. Даже «безобидные» витамины, принимаемые без совета врача, могут принести вред. Неумеренное потребление препаратов витамина А может привести к пожелтению кожи и общей слабости. А чрезмерные количества витаминов В и особенно Д могут привести к отравлению организма, особенно детского.

Известно, что полезных для человека микробов гораздо больше, чем вредных. Без помощи кишечных бактерий человек не смог бы закончить в толстом кишечнике процесс переваривания таких углеводов, как клетчатка. В нижних отделах кишечника микробы усиливают расщепление жиров, углубляют разложение белков. А очень важные для человека витаминные группы В и витамин К образуются в кишечнике с помощью кишечных палочек. Теперь понятно, какой вред может принести беспорядочное, длительное применение антибиотиков (биомицина, тетрациклина, стрептомицина и др.), которые, уничтожая кишечные палочки, способствуют заселению кишечника вредными для человека микробами. Только врач знает, какой антибиотик, в какой дозе и как долго применять. А бесцельное самолечение антибиотиками может привести к такому заболеванию, как участвовавший за последнее время кандидомикоз — грибковая болезнь, которая может иметь тяжелые последствия.

Сильным противомикробным средством являются и сульфамидные препараты — стрептоцид, сульфадимезин и др., но только врач может умело пользоваться этим оружием, учитывая состояние больного, особенности заболевания и то обстоятельство, что малые дозы неэффективны (из-за быстрой приспособляемости микробов к ним), а большие дозы или длительное применение препарата могут вести к отравлению.

Нельзя злоупотреблять и жаропонижающими средствами (аспирин, фенацетин и др.). Вспомним, что высокая температура при некоторых болезнях — это защитная реакция организма. Она помогает армии лейкоцитов уничтожать внедрившихся микробов, усиливает обезвреживающую деятельность печени. Иногда такая температура может повредить больному. В этом случае только врач должен решать, применить ли жаропонижающие средства, которые могут помочь удалить с потома вредные вещества и облегчить деятельность сердца, но способны также вызвать нежелательное переохлаждение тела. Не всякий кашель надо успокаивать приемом кодеина. При влажном кашле это средство может повредить, задерживая в легких мокроту.

Можно привести еще много подобных примеров, но постараемся запомнить, что каждым лекарством надо уметь пользоваться и только врач может сказать, когда принимать то или иное лекарство, сколько раз, в какой

дозе, до или после еды. Многие из нас просто одержимы страстью лечить себя и других, не имея для этого достаточной подготовки, а ведь лечить больного может только врач, овладевший этой сложнейшей отраслью человеческого знания. Не лечитесь сами и не лечите других, если вы не находитесь во всеоружии этого знания. Медики единодушно высказываются против самолечения и приводят убедительные примеры, как опасны всякого рода «лечебные» эксперименты над своим организмом по советам родных и знакомых. Ни один врач, как правило, не берется лечить самого себя. Но почему же в аптеках отпускают сотни всякого рода лекарств без рецепта врача? Не является ли свободная продажа лекарств поощрением самолечения?

Присмотримся, однако, к тем, кто пользуется лекарствами без рецепта. Это прежде всего люди, страдающие хроническими заболеваниями, такими, например, как бронхиальная астма, всевозможные артриты, язвенная болезнь и т. д. Они долгое время находятся под наблюдением врача, испытали уже на себе действие того или иного медикаментозного средства. Они продолжают лечение по разработанной врачом системе и принимают рекомендованные им лекарства. Можно ли это назвать самолечением? Конечно, нет.

Или такой случай. Человек простудился и под вечер почувствовал недомогание. Если температура чуть выше нормы, едва ли следует немедленно идти в поликлинику на прием к врачу, тем более, когда на улице сыро и холодно, а участкового терапевта ждуг еще пять-шесть человек.

В последнее время появилось много данных, на основании которых можно утверждать, что в большинстве случаев так называемые острые катары верхних дыхательных путей — результат повышенной чувствительности организма к холоду, а не воздействия инфекции. Вот почему целесообразнее, чтобы человек не охлаждался вновь, направляясь к врачу, а принял какие-то меры дома. Он должен как можно раньше принять противовоспалительные средства, уже назначавшиеся ему врачом в подобных случаях. При простуде хорошо помогает, например, теофедрин по полтаблетки три раза в день или аспирин с кофеином и пирамидоном, теплая постель, шерстяные носки и чай с малиной или медом.

При небольших ушибах, порезах, ожогах можно и до прихода врача промыть рану теплой водой с мылом, смазать йодом, положить стерильную повязку.

При головной боли следует принять «тройчатку», которая в этом случае оказывает замечательное действие. Практически здоровый человек может принять слабительную пилюлю — псафенн или пурген — для улучшения действия кишечника. Лучше пользоваться слабительными растительного происхождения, такими, как ревеня, крушина и т. п.

Следовательно, речь идет лишь о тех случаях, когда человек принимает лекарство при хроническом заболевании или симптоматических расстройствах функционального (неорганического) характера. Другими словами, он не занимается самолечением, а выполняет рекомендации лечащего врача. Всегда надо иметь в виду индивидуальные особенности организма. У некоторых людей существует так называемая сверхчувствительность даже к «невинным» лекарственным препаратам. Эта сверхчувствительность может быть врожденной (идиосинкразия) или она возникает в результате аллергических реакций в организме. Лекарство для него — как бы чужеродное вещество. В результате вспыхивает бурная аллергическая реакция, подобно тому, как спичка зажигает сухую солому. Чаще всего страдают при этом кровеносная система и кожа. Иногда подобные реакции возникают при очень длительных приемах повышенных доз лекарств, когда люди буквально «глушат» себя различными снотворными, пирамидоном, принимают без особой надобности производные стрептоцида — сульфаниламидные препараты и т. д.

У человека, который не переносит, например, пирамидона, даже после приема одной таблетки может внезапно появиться слабость, повыситься температура. Особенно сильные изменения наступают в крови: резко падает число лейкоцитов, происходит как бы временный паралич костного мозга. В то же время сотни тысяч людей принимают пирамидон от головной боли, многих больных приходится лечить от ревматизма повышенными дозами этого лекарства, и они отлично переносят его.

Более опасны производные пирамидона — бутадюн, пиразолиун и др. При лечении ревматизма эти лекарства действуют эффективнее пирамидона, но они чаще дают аллергические реакции. Вот почему эти препараты врач назначает строго индивидуально.

Очень осторожно нужно пользоваться и атофаном. Это хорошее средство, снимающее боли в суставах, но его надо

принимать обязательно с интервалами и лучше под контролем врача. Атофан дает при переносимости его организмом или длительном приеме резкие аллергические реакции крови, а также острое поражение кожи и печени. Однако прием его в обычных дозах исключает возможность неприятных побочных действий на больного. Но есть предположение, что атофан может вызвать другие болезненные явления. У подопытных животных атофан вызывал язву желудка.

Препараты сульфаниламидной группы—стрептоцид, сульфазол, норсульфазол, фталазол и др. в свое время, когда не было антибиотиков, сделали целую эпоху в медицине. И сейчас их широко применяют при осложнениях гриппа, воспалении легких, расстройстве кишечника. Большинство людей переносит сульфаниламиды хорошо, тем более что применяют их значительно реже, чем пирамидон. Однако надо знать, что эти средства, правда, очень редко, дают нежелательные изменения состава крови. Вот почему лицам, систематически принимающим стрептоцид или другие сульфаниламидные препараты, нужно немедленно остановить эту привычку.

Опасны ли снотворные? Практика показывает, что побочные действия снотворных средств так же редки, как и пирамидона. Но и здесь должно быть соблюдено непременное условие: обязательно делать интервал в приеме снотворных, заменяя их таким средством, как димедрол или настой из валерьянового корня. Надо в подобных случаях чаще советоваться с врачом. Лучше всего пользоваться таким замечательным средством, как длительная прогулка перед сном, тщательное проветривание комнаты, теплые ножные ванны.

Без рецепта врача в аптеке можно купить и антибиотики. Они представляют собой самое большое достижение медицины XX столетия. Последнее пятнадцатилетие ознаменовалось исключительно успешными поисками новых антибиотиков и, конечно, широчайшим их использованием в лечебной практике.

Несколько слов об аллергических заболеваниях и осложнениях, вызываемых антибиотиками. К сожалению, некоторые люди злоупотребляют ими. При легком недомогании они, не посоветовавшись с врачом, начинают бессистемно принимать антибиотики, не думая о последствиях. Нередко можно встретить людей, выражающих недоволь-

ство, когда врач не назначает им антибиотики при тех или иных заболеваниях. Это относится прежде всего к той части населения, которая больше доверяет не врачу, а собственным «познаниям» в медицине или пользуется советами близких и знакомых. А ведь в результате бесконтрольного лечения антибиотиками в организме накапливается большое количество антигенов. И вот при очередном приеме лекарства, когда количественные изменения переходят в качественные, словно взрыв, возникает аллергическая реакция.

Удивительное явление! Антибиотики спасли десятки миллионов человеческих жизней и все же ... в последнее десятилетие врачи несколько разочаровались в них. Пожалуй, нет такого антибиотика (а этих средств в арсенале медицины немало), лечебные свойства которого со временем не ослабевали бы. Это дало повод видным английским специалистам по антибиотикам высказать шутовское предположение, что совет «ученых» микробов мог бы легче разработать лечение человека антибиотиками, чем сам человек. Но бывают случаи, когда антибиотики не только не помогают, но могут и повредить. А почему?

В аллергическую реакцию вовлекаются все органы и системы. Ведь антигены накапливаются не только в кожных покровах, но и в тканях внутренних органов. Там может произойти воспаление, повреждение кровеносных сосудов и кровоизлияние, а это, естественно, нарушит функции важнейших органов — сердца, легких, почек, печени.

Приведем несколько примеров из практики советских врачей, показывающих, как жестоко расплачиваются люди за свое необоснованное увлечение антибиотиками. К врачу обратился больной с жалобой, что он вдруг перестал видеть одним глазом. Накануне, почувствовав легкое недомогание, он, как всегда, не посоветовавшись с врачом, принял пенициллин. Началась аллергическая реакция, в которую была вовлечена сосудистая система. В первую очередь пострадал сосуд, снабжающий зрительный нерв кровью. В результате отека нарушилась нормальная работа клеток зрительного нерва. Лишь через месяц, благодаря специальному лечению, у человека полностью восстановилось зрение. Конечно, такие тяжелые осложнения бывают, к счастью, редко. Чаще всего первый предвестник аллергической реакции организма — кожный зуд, который исчезает вскоре после прекращения приема лекарства.

Шестилетнему ребенку, перенесшему катар верхних дыхательных путей, родители по своей инициативе начали давать пенициллин для предупреждения возможных осложнений. На третий день тело малыша покрылось сыпью, похожей на ту, которая обычно характерна для кори. Обеспокоенные родители поспешили вызвать врача. Тот внимательно осмотрел ребенка и не нашел у него кори, а после подробного опроса близких установил причину сыпи: аллергическая реакция организма на пенициллин. Врач запретил давать антибиотик ребенку, и тот через два дня был совершенно здоров.

Иногда бывает и так. Больного по назначению врача лечат антибиотиками в стационаре или на дому. После очередного приема лекарства у него начинается крапивница, повышается температура тела, увеличиваются лимфатические железы. Это также извращенная реакция организма на антибиотики, которая прекращается через несколько дней после отмены такого лечения. Следует помнить, что крапивница — наиболее частая реакция на антибиотики — отнюдь не легкое осложнение. Тщательное исследование таких больных показало, что в это время у них наблюдаются изменения электрокардиограммы, свидетельствующие об ухудшении питания мышцы сердца.

Конечно, аллергия к пенициллину может возникать не только как следствие бесконтрольного лечения. Она иногда развивается в результате профессионального контакта с антибиотиками, например, у некоторых медицинских сестер, фармацевтов, работников заводов медицинских препаратов, где производятся антибиотики. У этих людей кожа рук краснеет, шелушится, на ней появляются маленькие пузырьки, наполненные прозрачной жидкостью. В дальнейшем, если контакт с антибиотиками продолжается, все эти явления заметно усиливаются, распространяются на другие части тела, и могут развиться экзема, аллергический насморк или бронхиальная астма. Естественно, что таких людей переводят на другую работу, где они не соприкасаются с антибиотиками.

Если у человека хотя бы раз была отрицательная реакция на антибиотики, ему нельзя ими пользоваться. Извращенная реакция организма на какое-то вещество, раз возникнув, сохраняется очень долго — до десяти и более лет. Особенно внимательно нужно оберегать от повторного приема этих лекарств детей, у которых появилась аллергия

к антибиотикам. Направляя их в ясли, детский сад, школу, пионерский лагерь, родители должны обязательно предупредить об этом медицинский персонал.

Описанные здесь осложнения от антибиотиков встречаются не часто. По данным советских и зарубежных ученых они составляют всего 1—2% от огромного числа людей, получающих эти эффективные лекарства. Поэтому отказываться от лечения антибиотиками из-за боязни аллергии — значит впадать в другую опасную крайность. Ведь при ряде заболеваний антибиотики незаменимы.

Можно ли избавиться от аллергии к антибиотикам? Да, можно. С этой целью проводится специфическая десенсибилизация организма, т. е. постепенно снимается повышенная чувствительность. Больному начинают вводить очень малые дозы раствора, например, пенициллина. Если человек удовлетворительно переносит лечение, эти дозы постепенно увеличивают. И хотя такое лечение очень длительно, требует большой выдержки и терпения врача и больного, положительные результаты его бесспорны. Аллергические осложнения от антибиотиков должны предостеречь людей от неумеренного и необоснованного применения этих замечательных препаратов. Результаты их применения могут быть весьма печальными. Только совместными усилиями врача и больного можно избежать подобных осложнений.

Несколько слов о допингах. Допинги — это введение вещества, чуждого организму, а также принятие физиологических веществ в чрезмерных дозах с целью добиться повышения двигательной деятельности. Сюда входят ряд средств, воздействующих на центральную нервную, сердечно-сосудистую и дыхательную системы, некоторые гормоны и алкалоиды. К допингам относятся также такие методы, как гипноз. Советские врачи, тренеры и педагоги по физическому воспитанию категорически возражают против применения таких средств. Почему? Допинг, нарушая нормальное течение восстановительных процессов, вызывает истощение клеток центральной нервной системы и сердечной мышцы.

В связи с тем, что спорт в наши дни связан с высокими физическими и психическими нагрузками, особенно важна слаженная работа всех органов и систем. Допинги же мобилизуя лишь некоторые функции, нарушают гармонию работы и восстановления целостного организма и этим наносят ему большой вред. Иногда в случаях, требую-

щих быстрого и максимального использования запасных сил организма, допинги помогают временно устранить чувство усталости. Субъективно утомление как будто исчезает, однако это обманчивое чувство: характерные тягостные ощущения, связанные с утомлением, страдают объективные, реальные изменения, происходящие в нервных и мышечных тканях. Процесс торможения, наступающий в коре головного мозга при утомлении, это сигнал: беречь нервные клетки от дальнейшего истощения! А допинги нарушают восстановительные процессы, усиливают возбуждение, заглушая этот сигнал. Они могут снять видимое ощущение усталости, но не ликвидируют изменений, которые происходят в организме в связи с перенапряжением. Известно, что даже такие безобидные напитки, как крепкий чай или кофе, если их пить систематически в больших дозах, вместо взбадривающего действия вызовут противоположное. У человека возникнут стойкие нарушения функций сердечно-сосудистой и нервной систем. Что же говорить тогда о допингах?

Физиологические резервы организма далеко не исчерпаны, и усиливать мышечную работоспособность нужно не допингами, а продуманной, рациональной тренировкой. В основе советского физического воспитания лежит принцип гармонического развития. Допинги, которые искусственно взбадривают организм и дают лишь иллюзию силы, недопустимы ни с медицинской, ни с воспитательной точек зрения. Злоупотребление допингами на западе превращается в своего рода наркоманию. А ведь мы хорошо знаем, что не существует ни одного медикамента, который, увеличивая результат мышечной деятельности, не вызывал бы побочных вредных последствий. Глубокое изучение химизма превращений в организме здорового и больного человека, химизма микробов и других вредных агентов — вот главный путь, по которому идет развитие науки об использовании лекарственных веществ с лечебной целью.

Вот все, что можно сказать о лекарствах. А так как лекарственных средств великое множество — постараемся познакомиться хотя бы с несколькими важнейшими группами их.

Наркотические средства

Трудно определить, что такое наркотическое средство, так как до сих пор биологи и медики по-разному объясняют слово «наркоз». Для врачей наркоз — это проявления действия наркотического вещества на центральную нервную систему. Биологи считают, что наркотические вещества действуют не только на нервную клетку, но вообще на любую живую клетку. Химическая природа наркотических веществ настолько разнообразна, что совершенно невозможно найти общие черты в их химическом строении. Единственная общая черта (и то относительно, так как и здесь имеются исключения) заключается в том, что наркотические средства не являются электролитами, т. е. молекулы их не распадаются (не диссоциируют) на ионы. Это означает, что они могут действовать на организм, не вступая с ним в чисто химическую реакцию.

Правда, имеются все основания полагать, что наркотические средства обладают способностью подавлять активность ферментных белков. В частности, установлено, что различные наркотики снижают активность холинэстеразы — фермента, ведающего разрушением ацетилхолина, который является медиатором, передающим возбуждение с окончания нерва на клетки соответствующего органа. Сначала ученые предполагали, что для угнетения ферментативной (холинэстеразной) активности требуются столь большие количества наркотических средств, такая их концентрация, которая в организме практически недостижима. Позднее удалось установить, что большую роль в этом случае играет соотношение между количествами фермента и субстрата, на который фермент действует. Удалось показать, что при существующих в организме соотношениях между ацетилхолином и холинэстеразой обычно применяемые дозы наркотиков угнетают активность фермента.

Было установлено, что наркотики действуют и на другие ферменты, в частности, на ферменты клеточного дыхания, на окислительные ферменты. И все же всего этого недостаточно для объяснения механизма действия наркотиков только химическими путями. Ведь наркотическое действие могут проявлять вещества, химически почти неактивные (азот, метановые углеводороды), или соединения, химически так мало похожие друг на друга, как мышьяк на слова.

Трудно представить, что все эти вещества осуществляют наркотическое действие с помощью определенных химических реакций. Невольно напрашивается вывод, что наркотические средства оказывают действие, так сказать, «самим своим присутствием». Химия может многое дать для понимания механизма действия наркотических средств. Так, например, удалось обнаружить, что у ряда наркотиков имеется определенная зависимость между их растворимостью в воде и силой действия на организм. Как это объяснить?

У биохимиков объяснение готово. Допустим, говорят они, что наркотики действуют в нервной системе не на один, а на два, а то и больше различных фермента. Почти наверняка эти ферменты неодинаково чувствительны к наркотикам. Допустим также, что один наркотик хорошо растворим в воде и подавляет активность обоих ферментов. Другой наркотик хуже растворяется в воде и выводит из строя не оба фермента, а только тот, который более чувствителен к его действию. Вот почему сила действия наркотика может зависеть от его способности растворяться в воде. Остается заключить, что есть лекарственные вещества, действующие на организм, не вступая с ним в химическую реакцию. К ним можно причислить и некоторые наркотические средства.

Местно анестезирующие средства

С давних времен жители Перу и Боливии знали о замечательных свойствах листьев кустарника кока, жевание которых снимало голод и усталость и вызывало приятное самочувствие. Путешественники доставили чудесные листья в Европу и более 100 лет тому назад из них был выделен алкалоид кокаин. Прошло еще четверть века и врачи заметили, что кокаин при нанесении на слизистые оболочки или введении под кожу вызывает потерю болевой чувствительности, а это и есть местная анестезия, т. е. обезболивание (от греческого слова «ан» — отрицание, «эстезис» — ощущение). Так началось шествие анестетиков в медицину.

Но как действуют такие средства? Они обладают способностью при соприкосновении с окончаниями нервов вызывать их временный («обратимый») паралич и тем самым блокировать передачу болевого раздражения по нервным

волокам. При этом сначала исчезает ощущение боли, затем холода и тепла, в последнюю очередь прикосновения.

В настоящее время подавляющее большинство хирургических операций производится под местным обезболиванием, причем существует много различных способов нанесения анестетиков. Важно, чтобы обезболивающее действие было достаточно выражено, наступало быстро и длилось бы настолько долго, насколько это требуется для хирургической операции, чтобы анестетик не раздражал тканей и поддерживал стерилизацию высокой температурой. Хороший анестетик должен суживать сосуды и благодаря этому медленнее всасываться, что удлиняет его действие.

Анестетиков известно немало. «Дедушка» их — кокаин хотя и сильный анестетик, но довольно ядовит, а главное способен вызвать опасное пристрастие — кокаинизм, ведущее к полному истощению организма. Самый распространенный анестетик — новокаин, который хотя и слабее кокаина, но менее ядовит, а главное не вызывает пристрастия. Есть и другие анестетики — совкаин, дикаин, апестезин, ксилокаин (последний обладает наибольшей силой действия и малой токсичностью).

Хотя анестетики различны по химическому строению, у большинства из них содержится одинаковая группировка атомов — свободное основание, от которого зависит обезболивающее свойство. Почти все анестетики применяются в виде растворимых в воде солянокислых солей. Так как реакция тканей нашего тела слабо щелочная, такая соль обычно распадается с выделением свободного основания, которое и действует обезболивающе. Если ткань воспалена, если имеется гной, реакция которой кислая, количество свободного основания уменьшается. Вот поэтому удаление зуба из воспаленной ткани под наркозом все же болезненно.

Каков химический механизм действия местных анестетиков?

Многие ученые полагают, что эти вещества вмешиваются в дыхательные и окислительные процессы в нервных клетках, блокируют активность окислительных ферментов, тормозят дыхание клеток, уменьшают поглощение имп кислорода. Другие считают, что анестетики препятствуют работе ацетилхолина у окончаний нервов. Наконец, третьи предполагают, что анестетики, благодаря наличию в них

«водолюбивых» (гидрофильных) и «жиролубивых» (липофильных) группы атомов, дезорганизуют работу сходных групп в оболочке нерва и этим нарушают ее проницаемость.

Болеутоляющие средства

Каждый из нас еще в раннем детстве случайно (а то и намеренно: ведь так интересно исследовать неизвестное) прикасался пальцем к пламени свечи или горячему утюгу. Что же заставляло нас отдергивать руку и затем с ревом бежать за помощью и утешением к маме? Чувство боли. Кому из взрослых не известны зубная боль, рези в желудке и кишечнике, головная боль? Как многообразны характер и интенсивность этих болей: острые или тупые, сильные или слабые, ноющие или стреляющие, жгучие, тянущие, давящие, сверлящие, сжимающие, распирающие, пульсирующие. Может быть, каждая из них отличается от других болей и вызывается каким-либо особым механизмом? Скажем сразу же — нет.

Что же представляет собой боль?

Прежде всего это сигнал о бедствии, о действии на организм какого-то вредного агента (назовем его чрезвычайным раздражителем). Такой агент раздражает окончания афферентных нервов, передающих импульс в соответствующие болевые центры коры головного мозга, в результате чего мы ощущаем боль. Хорошо это или плохо? Хорошо — отвечаем мы. Боль — это надежный советчик, бдительный часовой, предупреждающий о возможной катастрофе. В самом деле. Если ребенок, почувствовав боль, не отдернет палец от пламени или горячего утюга — результатом будет сильный ожог. Недаром термины «болезнь», «больной» имеют в своей основе «боль».

Запомним все же, что боль может возникать не только в больном, но и в здоровом организме. Есть болезни, не сопровождающиеся чувством боли. И все же болевая реакция, т. е. боль, — спутник многих заболеваний. Это понятно: в основе многих болезней лежит воспаление (воспаление легких, «воспаление» уха и т. д.), а воспалительный процесс — источник боли. Очень часто при заболеваниях внутренних органов болевое ощущение является результатом спазма гладкой мускулатуры.

Многим из нас знакомы боли, вызываемые спазмами мускулатуры выводящих путей различных органов — по-

чечные и печеночные колки, а также боли, возникающие при спазме кишечной мускулатуры — кишечные колки. Эти боли могут носить жестокий, невыносимый характер, и тут наша оценка ощущения боли невольно меняется. Конечно, боль — хороший сигнализатор о надвигающемся неблагополучии в организме. Но очень часто это сигнализатор, весьма мало стесняющийся в выборе средств и часто ведущий себя, как медведь в известной басне Крылова «Пустынный и медведь»: «Что силы есть — хватя друга камнем в лоб!» Но болевая реакция может быть столь сильной и упорной, что жизнедеятельность организма нарушается и ему угрожает гибель. Известно, что медведи погибают от зубной боли. До открытия средств, подавляющих ощущение боли, половина тяжелораненых погибала от травматического шока, в возникновении которого решающую роль играют болевые раздражения.

Современная медицина решительно борется против боли в первую очередь с помощью болеутоляющих средств. Таких средств известно много, характер действия их различен. Но об этом речь будет идти ниже. Пока же постараемся представить себе общий принцип, лежащий в основе действия болеутоляющих средств (анальгетиков — от греческого слова «альгос» — боль, «ан» — отрицание).

Выше мы упоминали о том, что ощущение боли возникает, когда в болевые центры мозга поступают сигналы от нервов, раздражаемых повреждающим агентом. Центральная нервная система как бы суммирует отдельные слабые (подкорковые) раздражения, прежде чем резко ответить на них ощущением боли¹. Вот эту-то «суммационную» способность нервных центров и снижают анальгетики. Они как бы задерживают поступление сигналов (импульсов), ослабляют проведение возбуждения в центральной нервной системе и благодаря этому подавляют восприятие чувства боли. Таков, в общем, механизм действия анальгетиков, заключающийся в их угнетающем влиянии на центральную нервную систему.

Но обезболивание может быть осуществлено и с «другого» конца. В самом деле, нельзя ли преградить путь сиг-

¹ По современным воззрениям, болевые возбуждения проходят сначала через ствол мозга, ретикулярная формация которого принимает участие в формировании болевого ощущения в коре головного мозга.

налам, раздражающим болевые центры мозга. И тем самым предохранить эти центры от возбуждения? Можно выключить не только болевую, но и другие виды чувствительности в определенном, ограниченном участке тела с помощью местно анестезирующих средств. Интересно, что человек при этом сохраняет сознание, да и другие функции тела не нарушаются.

Итак, анальгетики хорошо дружат с местно анестезирующими средствами, являются их верными помощниками, усиливающими их обезболивающий эффект. Это общее свойство анальгетиков широко используется современной медициной.

Познакомимся с отдельными представителями этих интересных медикаментов. Пожалуй, наиболее известны болеутоляющие средства, источником которых служит опиум — млечный сок из незрелых головок спотворного мака. Опиум содержит более 20 ядовитых веществ — алкалоидов, многие из которых используются медициной. И первым среди них является морфин. Если ввести человеку небольшую дозу морфина, наступает общее успокоение, угнетение нервной системы, болевая чувствительность резко снижается, сознание сохраняется, и наступает состояние особого благополучия и легкости. Но именно в этом таится грозная опасность: может возникнуть пристрастие к морфию — морфинизм, а это тяжелый и трудноизлечимый недуг — наркомания.

Что делает человека наркоманом? Химия еще не разгадала этого, но стоит на подступах к разгадке. Присмотримся к животным. Попробуем дать коту валерьянку — он станет наркоманом. Не получая больше валерьянки, животное может дойти до бешенства. А ведь мы только лишили его испытанного удовольствия. Так и человек, пристрастившийся к морфию: чтобы получить этот наркотик, он готов пойти на все. Этим умело пользовались главари секты «ассасинов» («ассасин» по-французски — «убийца»), борющейся во времена крестовых походов с чужеземными захватчиками. «Ассасин» — это офранцуженное «гашиш» (гашиш — так называли наркотик, содержащий опиум). Человек, который пристрастился к гашишу, готов был пойти на все, чтобы получить порцию наркотика. Члены секты становились убийцами командиров крестоносцев.

Секрет действия наркотиков, возможно, заключается в химизме мозга. Если в мозг крысы ввести лекарственное средство марсилид, животное явно испытывает «удоволь-

ствие». Можно допустить, что наркотики химически воздействуют на «центры» удовольствия в мозге. Существуют ли такие «центры» удовольствия или неудовольствия, пока точно не известно. Но можно с уверенностью сказать, что именно химические особенности мозга каждого человека лежат в основе разного отношения к наркотикам. Известны случаи, когда даже частое применение наркотиков не делало людей паркомапами. Правда, такие случаи редки. Некоторые наркотики не вызывают сильного пристрастия, например, широко применяемая для наркоза закись азота вообще не делает человека паркоманом. Почему? Ответ можно получить тогда, когда химия раскроет все интимные механизмы нашего мозга.

У кого из нас не было повышенной температуры? Чаще всего это верный признак заболевания, особенно инфекционного. Температурой тела ведает тепловой центр головного мозга. Когда он возбуждается (например, под влиянием ядов, выделяемых микробами), температура тела повышается, наступает лихорадочное состояние. Есть средства, которые способны снижать возбудимость теплового центра и, следовательно, понижать лихорадочную температуру (интересно, что на нормальную температуру тела они не влияют). Высокая температура снижается благодаря резкому увеличению отдачи тепла телом главным образом через поверхность тела и дыхание.

К этой группе веществ относятся пирамидон, анальгин, бутадиион, антипирин. Не следует думать, что они «лечат», устраняя причину болезни. Снижение температуры (жаропонижающий эффект) — только временное явление. Но все же эти средства приносят пользу тогда, когда температура высока и тягостна для больного. Не надо только стремиться снизить температуру тела до нормальной, злоупотребляя этими средствами. А длительное применение этих средств, например пирамидона или бутадииона, может вызвать опасные изменения в крови, в частности снижение количества белых кровяных шариков — лейкоцитов. Такое состояние называют лейкопенией. Иногда лейкопения может угрожать жизни. Поэтому при длительном лечении пирамидоном и особенно бутадиионом надо тщательно контролировать картину крови.

Такая «оборотная сторона медали» бутадииона может иногда быть использована и на благо человеку. По некоторым данным, бутадиион оказывает лечебный эффект при

злокачественном белокровии (лейкемии), характеризующемся увеличением лейкоцитов в крови.

Из упомянутых выше средств наименее ядовит аналгин. Он выводится из организма почками частью в неизменном виде, частью в сочетании с другими, полностью обезвреживающими его веществами (некоторыми кислотами). Более ядовиты пиримидон и бутадилон. Почти все количество принятого пиримидона подвергается переработке в главной химической лаборатории нашего тела — печени — и выделяется с мочой. Существует мнение, что бутадилон, расщепляясь в нашем теле, дает продукты, обладающие различным действием: один «лечит» ревматизм, а другой помогает почкам удалять из организма мочевую кислоту.

Болеутоляющими свойствами обладает также группа различных веществ, которых объединяет одна черта: они «владеют многими профессиями» — не только снижают болевую чувствительность, но действуют как жаропонижающие и противовоспалительные средства, поэтому и будут рассмотрены в соответствующей главе. Здесь, однако, уместно сказать, что и обезболивают они по-иному, чем анальгетики группы морфина. Прежде всего у здоровых людей они не снижают болевой чувствительности и действуют только при невралгических, зубных, головных, суставных и мышечных болях. Боль они снимают, действуя угнетающим образом на так называемые зрительные бугры головного мозга. Применение этой группы веществ не приводит к привыканию, но они не лишены некоторых других вредных свойств.

Что это за вещества? Это — аспирин и другие вещества — производные салициловой кислоты, которая и сама обладает обезболивающими свойствами. Несколько меньше применяются в качестве обезболивающих средств производные очень важного для промышленности вещества — апилина.

Во всех случаях, когда это возможно, желательно заменять пиримидон аналгином или же препаратами салициловой кислоты. Салициловая кислота — родоначальник многих широко применяющихся препаратов — салицилатов. Салициловая кислота и ее соли сравнительно мало токсичны, они не оказывают побочного действия, если их принимают в больших количествах. Наиболее характерная их черта — противовоспалительное действие, поэтому они считаются классическими противоревматическими средствами. Химический механизм их действия все же окончательно

не выяснен. Хорошо известно, что салициловая кислота в организме активно вмешивается в самую гущу химических превращений. Она, например, угнетает обмен углеводов в организме и даже может снижать выделение сахара с мочой у больных диабетом; воздействует на энергетическое хозяйство клеток нашего тела, подавляя образование фосфатных связей — своеобразных накопителей энергии; ослабляет деятельность различных ферментов — ускорителей химических превращений в клетках. Некоторые ученые предполагают даже, что благотворное действие салициловой кислоты при ревматизме основано на том, что она снижает активность фермента — гиалуронидазы. (Этот фермент усиленно «работает» при ревматизме.) Другие считают, что салицилаты (и упомянутые выше: пирамидон, аналгин, бутадюн) усиливают прямо или косвенно работу надпочечных желез, которые в этом случае выделяют чрезвычайно большое количество особых гормонов (кортикостероидов), обладающих противовоспалительным действием.

Некоторые ученые полагают, что при ревматизме клетки теряют медь, ускользающую при этом в кровь. Но салициловая кислота захватывает беглянку (как рак хватается клешней) и в виде «хелата» (от греческого «хела» — клешня) водворяет обратно по месту жительства. Наконец, многие ученые считают, что противовоспалительное действие пирамидона и других средств заключается в их способности понижать повышенную при ревматизме и некоторых других заболеваниях проницаемость стенок тончайших кровеносных сосудов — капилляров. Салициловая кислота обладает многими замечательными свойствами. При наружном применении она помогает бороться с повышенной потливостью и с различными кожными болезнями. Хорошо выражены и противомикробные, антисептические свойства этой кислоты.

Очень интересно еще одно свойство некоторых противовоспалительных средств, а именно способность оказывать лечебное действие при аллергических состояниях. Этому не приходится удивляться, так как аллергическая реакция довольно часто сопровождается воспалением. Но иногда воспаление не имеет ничего общего с аллергической реакцией, а бутадюн, пирамидон или салицилаты — типичные противовоспалительные средства — подавляют такую реакцию. Можно, конечно, предположить, что салици-

латы снижают аллергию косвенно, стимулируя выделение надпочечниками особых гормонов — глюкокортикоидов. Но пока это только предположение, нуждающееся в дальнейшем подтверждении.

Что же известно о механизме противовоспалительных и противоаллергических средств? Воспаление — это состояние, которое можно образно назвать «пожаром» обмена веществ в организме. Химизм воспалительного процесса выяснен мало. Существует мнение, согласно которому воспалительный процесс сопровождается нарушением нормального хода процессов обмена веществ. Это выражается в изменении содержания таких веществ, как аскорбиновая кислота, холестерин и др. Но главная особенность — усиление в очаге воспаления активности биологических катализаторов — ферментов, ведающих процессом распада белков — протеолизом. Ведущую роль приписывают ферменту — фибринолизину, способному расщеплять не только фибрин, но и другие белки. В результате протеолиза возникают различные раздражители тканей, среди которых особое значение имеет гистамин. Это близкое к аминокислоте гистидину вещество играет важную роль в возникновении воспалительного процесса. Обычно гистамин находится в связанном неактивном состоянии и освобождается только при различных заболеваниях. Есть предположение, что повышенное содержание в тканях свободного гистамина играет значительную роль в развитии аллергических болезней, таких, как крапивница, сенная лихорадка, сывороточная болезнь и др.

Таким образом, воспаление и аллергия во многом схожи. Понятно, почему противовоспалительные средства обладают и противоаллергическими свойствами или противогистаминные средства оказывают и противовоспалительное действие. Но все же многое в этом вопросе еще не совсем ясно. Если, например, объяснять противовоспалительное действие салицилатов (а также других жаропонижающих средств, вроде пираидона и анальгина) тем, что они угнетают прямо или косвенно ферментативное расщепление белка (в частности, фибрина), то можно понять, почему такие средства не дают развиваться воспалительным явлениям. Но ведь эти лекарства одновременно способствуют сокращению воспалительного процесса — рассасыванию экссудата (например, выпота жидкости при плеврите), а приведенный выше механизм этого не объясняет.

Возможно, что противовоспалительные средства защищают ткани от влияния гистамина и других «раздражающих» веществ, образующихся в очаге воспаления. Химизм противовоспалительного действия бутадиона (а также пиромидона и анальгина), возможно, связан с разнообразными изменениями, которые наблюдаются после введения этих препаратов в организм. Тут и усиление синтеза рибонуклеиновой кислоты (одного из самых важных для жизни веществ), и снижение уровня глутатиона (непрерывного участника многих реакций окисления — восстановления), уменьшение потребления йода щитовидной железой (обычно жадно захватывающей это вещество из крови) и подавление активности некоторых ферментов, особенно тех, которые ведают расщеплением белков.

Противоаллергические средства

Аллергию можно рассматривать как состояние повышенной чувствительности организма, посягающее оборонительный характер. Организм борется против вторжения чужеродных тел — антигенов — путем образования особых защитных веществ, так называемых антител. Бой между антигеном и антителом происходит в клетке. Химическая реакция «антиген — антитело» сопровождается повышением активности протеолитических (расщепляющих белки) ферментов, повреждением тканей и освобождением из связанного состояния биологически активных продуктов, в первую очередь гистамина, а также ацетилхолина и аденозина. Эти вещества и обуславливают возникновение признаков аллергического заболевания.

Противоаллергические средства действуют различным образом. Некоторые из них, такие, как кортизон, предотвращают (или замедляют) «дуэль» между антигеном и антителом или снижают в крови содержание веществ, способствующих развитию аллергического воспаления. Другие обладают «антигистаминными» свойствами: обладая химическим строением, сходным с гистамином, они как бы подменяют гистамин в соответствующих биохимических реакциях, не вызывающих «гистаминного» эффекта. К таким веществам можно отнести широко применяемый врачами димедрол. Многие лекарства действуют на отдельные проявления аллергической болезни, снижая проницаемость капилляров, устраняя спазм гладкой мускулатуры различных

органов, изменяя физико-химические свойства крови. В качестве примера можно привести действие адреналина, благодаря введению которого можно купировать (прекратить) приступ бронхиальной астмы и воздействовать (в меньшей степени) на такие аллергические болезни, как крапивница, сенная лихорадка, сывороточная болезнь и др.

Противосудорожные средства

Такие средства применяются главным образом при заболеваниях, сопровождающихся судорогами и дрожью: при эпилепсии, паркинсонизме и хорее. Обычно они не устраняют причины заболевания, а только улучшают состояние больного, препятствуя проявлению судорог или дрожания. Химический механизм действия этих средств пока еще не совсем выяснен. В опытах на животных ученые обнаружили, что некоторые вещества, угнетающие действие фермента холинэстеразы (он расщепляет ацетилхолин), вызывают судороги, похожие на судороги у больных при эпилептическом припадке. Это позволяет предположить, что именно накопление и избыток ацетилхолина ведет к перевозбуждению центральной нервной системы, проявляющемуся в виде судорог или дрожи. И действительно, химические вещества, способствующие устранению действия ацетилхолина (их называют холинолитическими), помогают устранять судороги, особенно дрожание, и их широко применяют для лечения больных паркинсонизмом.

Однако не все лекарственные противосудорожные средства обладают ясно выраженными холинолитическими свойствами, и химический механизм их действия ждет дальнейшего изучения.

Успокаивающие средства

«Нервный субъект»! Как часто мы встречаемся с такой характеристикой человека, легко раздражающегося, казалось бы, по пустякам. Как и многие определения, широко распространенные в повседневной жизни, эти слова никак нельзя считать точными. В известном смысле все люди являются «нервными субъектами», так как все наше поведение определяется нервной системой, в основе деятельности которой лежит возникновение процессов возбуждения и торможения. У нормальных уравновешенных людей оба эти процесса сменяют друг друга легко и быстро у живых

(сангвинического типа), медленно — у спокойных (флегматического типа) субъектов.

Встречаются еще люди с сильной, но неуравновешенной нервной системой (холерический тип), у которых процессы возбуждения и торможения характеризуются большой силой, но первый резко преобладает над вторым. Именно людей такого типа именуют в быту «нервными субъектами». Есть люди, нервная система которых характеризуется слабостью процессов возбуждения и торможения (меланхолический тип).

Известно, что деятельность разных отделов нервной системы точнеешим образом скоординирована: изменение в одном из них сейчас же отражается на состоянии других участков. Хотя нервная система обладает замечательной способностью адаптации (приспособления) к самым необычным условиям (вспомним славных героев-космонавтов нашей страны), но бывают «чрезвычайные» обстоятельства, приводящие к возникновению нервных и психических (т. е. сопровождающихся умственными расстройствами) болезней. В этом случае врач охотно и с пользой применяет средства, успокаивающие или возбуждающие нервную систему.

Широкой известностью пользуются бромиды. Школа И. П. Павлова установила, что эти соли бромистоводородной кислоты обладают способностью усиливать процессы торможения в коре головного мозга, особенно, когда возбудимость клеток коры ненормально повышена. Бромиды обладают замечательной способностью регулировать соотношение между процессами возбуждения и торможения, чем широко пользуются врачи.

Правда, длительное применение бромидов может повести к хроническому отравлению — бромизму, при котором наступает состояние безразличия ко всему, малоподвижность, ослабляется память. В этом случае больной должен прекратить прием бромидов. Ему дают большие количества поваренной соли (до 20 г в сутки) и обильное питье.

Чем руководствуется врач, давая больному поваренную соль? Дело в том, что бромиды и хлориды — своего рода соперники, борющиеся за место в организме и вытесняющие отсюда друг друга. Поваренная соль вытесняет задержавшиеся во внеклеточных жидкостях организма растворимые бромиды, а обильное питье, наводняя жидкостью наше тело, способствует их удалению.

Бромиды раздражают слизистую оболочку желудка и кишечника, поэтому их принимают после еды. Эти препараты не назначают при расстройствах кишечника, а также при болезнях кожи, почек, туберкулезе, малокровии. При правильном назначении это иногда незаменимые лекарственные средства, благотворное действие которых часто можно усилить, сочетая бромиды с кофеином и другими средствами.

Кому из нас не знакомы валерьянка (препарат из лекарственной валерьяны) или валидол. Эти лекарственные средства сходны по составу и по действию на организм. Действие это многогранно. На первом месте стоят все же успокаивающие свойства, особенно при состояниях возбуждения, истерии, неврастении. Валерьянка и валидол усиливают процессы торможения в коре головного мозга. Наряду с этим они обладают способностью расширять коронарные сосуды сердца и мозга — спазмолитическим действием (валерьянка в меньшей степени).

Успокаивать можно по-разному и в этом легко убедиться, рассматривая механизм действия успокаивающих (седативных) средств, находящихся на вооружении современной медицины. Так, например, в составе нашего мозга имеется серотонин (вещество, близкое к аминокислотам). В свободном состоянии серотонин влияет на центры промежуточного мозга, вызывая возбуждение тормозящих нервных приборов. Таким образом, процессы торможения начинают преобладать над процессами возбуждения, а это приводит к успокоению. Серотонин, связанный мозговой тканью, такого действия не оказывает.

Имеются основания полагать, что резерпин (алкалоид из растения Раувольфия змеиная) освобождает связанный серотонин, мешает ему вести «оседлый образ жизни» в мозговой ткани. Отсюда можно сделать вывод, что резерпин должен обладать успокаивающими свойствами. Действительно, этот препарат широко применяется для снятия возбуждения и страха у нервных и психических больных. И, пожалуй, еще шире — для снижения артериального давления крови у гипертоников. Но об этом свойстве резерпина будет сказано в соответствующем разделе.

Стимуляторы

Стимуляторами называют вещества, снимающие утомление, вызывающие у человека ощущение прилива сил и способные повышать качество и объем выполняемой им умственной или физической работы. Такому определению, пожалуй, обрадуются некоторые любители алкогольных напитков. Ведь встречаются люди, утверждающие, что прием алкоголя придает им бодрость. Но их придется разочаровать: эта бодрость только кажущаяся. Если даже после приема алкоголя объем выполняемой работы возрастает (что бывает редко), то качество ее неизменно ухудшается. Это доказано многими научными исследованиями.

Действие стимуляторов проявляется неодинаково и механизм их не выяснен полностью. Существует много попыток объяснить этот механизм, остановимся на одной из них.

Кому не случалось наблюдать встречи извечных врагов — собаки и кошки! Их внешний вид и поведение при этом свидетельствуют о максимальном напряжении сил организма, мобилизующего все свои возможности для борьбы за жизнь. Если исследовать в это время кровь собаки и кошки, легко убедиться, что в ней резко повышается содержание глюкозы (виноградного сахара) и адреналина, вырабатываемого надпочечными железами. Именно адреналин вызывает то состояние ярости и страха, в котором находятся кошка и собака при встрече друг с другом. Он учащает ритм сердечной деятельности, повышает кровяное давление и усиливает работоспособность скелетных мышц, особенно, если они утомлены. Немалую роль в этом играет и то обстоятельство, что, улучшая кровоснабжение мышц, адреналин одновременно повышает содержание в них глюкозы — главного источника энергии для работающей мышцы.

Как это происходит? Организм, как бережливый хозяин, имеет в своем распоряжении «склады», в которых откладывает про запас гликоген — полисахарид, состоящий из остатков глюкозы. Главный склад — печень; немало гликогена содержится и в мышцах. Под влиянием адреналина гликоген печени расщепляется с образованием глюкозы, которая с током крови разносится по организму и доставляется усиленно работающим мышцам. Адреналин способствует расщеплению и того гликогена, который отложен в самих мышцах. Наряду с глюкозой из гликогена может образоваться и молочная кислота, которая, расширяя со-

суды мышцы, усиливает снабжение их кровью. Это и повышает работоспособность организма.

Вот одна из сторон деятельности адреналина, переведенная на язык химии. И все это происходит под верховным руководством центральной нервной системы, которая регулирует расщепление (и образование) гликогена как непосредственно, так и через железы внутренней секреции, в частности, надпочечники, которые, «получив приказ» из коры головного мозга, начинают выделять в кровь повышенные количества адреналина. Таково стимулирующее действие адреналина на организм. Но у адреналина есть «враг», поджидающий его во всех темных закоулках организма. Это фермент — моноаминоксидаза, которая при встрече с адреналином начинает его окислять и разрушать. Есть, однако, у адреналина и защитники, среди которых такие химические средства, как фенामीн, эфедрин и первитин. Эти вещества очень похожи по химическому строению на адреналин. Сходство таково, что моноаминоксидаза при встрече с ними принимает их за адреналин и вступает в реакцию, но разрушить не может. Такие вещества, «самоотверженно выдавая себя» за адреналин, принимают удар моноаминоксидазы (от чего сами не страдают) и на некоторое время выводят ее из строя. Фермент теряет на это время способность окислять адреналин. Таким образом, эти вещества как бы «действуют адреналином», препятствуя ферментативному разрушению адреналина.

Подобное объяснение химического действия таких стимуляторов, как эфедрин, первитин, фенामीн, весьма заманчиво. К сожалению, оно не вполне применимо и вот почему. Дело в том, что адреналин разрушается в организме не только моноаминоксидазой, более того, главные пути его превращений в организме совсем иные. Стимулирующее действие эфедрина, первитина и фенामीна очень похоже на аналогичное действие адреналина. Отсюда их общее название: «стимуляторы адреномиметического действия».

Другую группу веществ можно назвать: «стимуляторы холиномиметического действия». Эти вещества (сравнительно малоприменяющиеся в качестве стимуляторов из-за ряда отрицательных свойств) сходны по действию с ацetylхолином. К ним относятся, например, такие сильные яды, как алкалоиды — пикотин (из табака) и ареколин (из растения *Arecata catechu*). Некоторое применение может найти прозерин, заметно повышающий мышечную работоспособность

человека. Химический механизм его действия заключается, вероятно, в том, что он угнетает фермент холинэстеразу, разрушающую ацетилхолин, и, таким образом, стабилизирует ацетилхолин, тем самым облегчая передачу нервных импульсов на рабочий орган. Вещества, подобные прозерину, точнее было бы называть антихолинэстеразными. Вроде, не исключено, что в основе стимулирующего действия прозерина лежит его способность усиливать выработку адреналина и отдачу его в кровь надпочечными железами.

Стимулирующим действием на организм обладают и многие широко известные витамины. Особенно ярко это действие проявляется при недостатке витаминов (гиповитаминозе). Но даже и тогда, когда такого недостатка нет, прием некоторых витаминов, так сказать, «сверх нормы», может оказывать стимулирующее, бодрящее действие на организм. Каков химический механизм этого действия? Тут можно высказать ряд предположений.

Витамин С оказывает благотворное действие на адреналин, предохраняя его от разрушения. Таким образом, можно предположить, что витамин С действует стимулирующе «через адреналин», что, конечно не исключает и других путей. Витамин В₁₂ обладает двойкой способностью. С одной стороны, он участвует в построении молекулы ацетилхолина, с другой стороны, предохраняет ее от разрушения, угнетая активность фермента холинэстеразы. Интересно, что витамин В₁₂, обладающий стимулирующим действием, по своему химическому строению напоминает дибазол, вещество, вызывающее заметное повышение работоспособности при одновременном снижении кровяного давления (чем он и отличается от большинства других стимуляторов).

Среди других стимуляторов широкой известностью пользуются кофеин, препараты орехов кола (содержащие двойное соединение кофеина и теобромина с дубильной кислотой), знаменитый жень-шень, лимонник китайский, пантокрин (приготавливаемый из пантов — молодых рогов пятнистого оленя). Все они влияют на центральную нервную систему, но с различными оттенками эффекта изучен химический механизм их стимулирующего действия предположительно мало. Правда, имеются данные, позволяющие предположить, что кофеин может действовать «через адреналин» (усиливая его поступление в кровь из надпочечных желез) и «через холин», угнетая действие фермента холинэстеразы.

Вещества, действующие в области окончаний центробежных нервов

Все нервы, несущие импульсы от центральной нервной системы к органам нашего тела, работой которых они управляют, называются центробежными (эфферентными). Их можно делить на холинергические и адренергические. У окончаний первых образуется ацетилхолин, у окончаний вторых — норадреналин (иногда адреналин). Такие вещества называют медиаторами, т. е. посредниками. Они как бы переводят нервный импульс на язык химии, вступая в реакцию с биохимическими системами (соответственно холинореактивными или адренореактивными), и таким образом усиливают или тормозят работу соответствующего органа. В самой центральной нервной системе действует еще один медиатор — серотонин.

Медиаторы возникают и разрушаются в тканях при участии различных ферментов. Образованием ацетилхолина ведает фермент холинацетилаза, а его разрушением — холинэстераза. Норадреналин и серотонин разрушаются в тканях одним и тем же ферментом — моноаминоксидазой.

В качестве лекарственных средств можно использовать как сами медиаторы, так и вещества, похожие на них химически, имитирующие их действие (соответственно холиномиметические или адреномиметические). Есть также холинолитические средства, которые устраняют действие ацетилхолина, тогда как адренолитические вещества «мешают» работе адреналина или норадреналина. Наконец, антихолинэстеразные или антимоноаминоксидазные вещества могут подавлять активность этих ферментов, а это, естественно, усиливает и удлиняет действие соответственного медиатора.

Ацетилхолин — вещество нестойкое. Как лекарственное средство некоторое применение нашел похожий на него химически карбохолин. Для лечения глаукомы применяют холиномиметическое средство — пилокарпин. По своему действию на организм с холиномиметическими веществами сходны многие химические средства — эзерин, прозерин, галантамин, армин, фосфокол, пиррофос. Это — антихолинэстеразные вещества. Другими словами, они блокируют действие этого фермента. В результате разрушение ацетилхолина задерживается, а его действие на органы усиливается и удлиняется. Прозерином, эзерином, галантами-

ном лечат резкую слабость мышц и некоторые другие болезни; арминном, фосфаколом, пирофосом — глаукому.

Холинотитические вещества действуют с определенной целью. Дело в том, что холинореактивные системы различных органов далеко не одинаковы. Это легко проверить. Одни из них возбуждаются действием малых количеств мухоморного (грибного) яда — мускарина. Это — мускариночувствительные, сокращенно *м*-холинореактивные системы. На другие действуют слабые концентрации табачного яда — никотина. Это — *н*-холинореактивные системы. Общим для всех холинотитических средств является то, что они обладают способностью предотвращать взаимодействие ацетилхолина с холинореактивными системами, несмотря на то, что сам ацетилхолин продолжает выделяться в организме. Одни холинотитические вещества (атропин, гноциамин, платифиллин, скополамин и др.) осуществляют это, блокируя *м*-холинореактивные системы клеток. Что касается *н*-холинореактивных средств, то за последнее десятилетие особое значение придают так называемым ганглиоблокирующим веществам — гексонию, пентамину и др. Эти вещества вступают в соревнование с ацетилхолином, препятствуя его взаимодействию с химическими системами клеток ганглиев (нервных узлов), и блокируют передачу нервных импульсов через эти узлы, благодаря чему они широко применяются при гипертонической болезни и операциях на мозге и сердце.

Большое значение получили и так называемые курареподобные вещества. Вспомним свое детство, когда, затаив дыхание, мы читали приключенческие повести, в которых рассказывалось об индейских стрелах, отравленных страшным ядом кураре¹. В руках ученых этот яд стал служить медицине. Химики выделили из него алкалоид тубокурарин, изучили химическое строение и свойства, после чего создали ряд курареподобных веществ, лишенных недостатков яда кураре, но сохранивших его достоинства. А достоинства яда кураре велики и главное из них — расслабляющее действие на мускулатуру. Это драгоценное свойство очень помогает хирургам во время операций, а также психиатрам и невропатологам.

¹ Кураре получают из некоторых видов ядовитого южноамериканского растения *Strychnos*.

Каков химический механизм их действия? Чтобы понять это, надо знать, что мышцами управляют двигательные нервы. Проходящий по нерву импульс способствует образованию у его окончаний ацетилхолина, который и вызывает сокращение мышцы. Вещества типа кураре конкурируют с действием ацетилхолина: они или уменьшают это действие, или сами воздействуют на так называемые концевые двигательные мышечные пластинки. В результате мышцы расслабляются, а это благоприятно отражается на исходе операции и на процессе выздоровления. Курареподобные вещества — диплазин, парампон, дельсемин, дитилин — часто применяют при операциях в сочетании с наркозом.

Есть средства, которые возбуждают нервные узлы — ганглии. Прежде всего здесь надо упомянуть табачный яд — никотин; ведь это от него образовалось название *n*-холинореактивные (никотинчувствительные) системы. Никотин — сильный яд, притом яд, который даже не используют с лечебной целью, а это редкое явление. И курение табака — тяжелый бич значительной части человечества, так как следствием его являются не только болезни сердца, но часто и такие тяжелые заболевания, как рак легких. Ученые всего мира следят с интересом за исходом своеобразного эксперимента, поставленного в США: в одном из городов Техаса курение табака наказывается трехлетним тюремным заключением.

А вот близкие по своему действию к никотину алкалоиды лобелин и цитизин служат врачам верой и правдой как средства, возбуждающие дыхание.

Адреномиметические вещества называют также симпатомиметическими, так как норадреналин (наряду с адреналином, вырабатываемым также в надпочечниках), действию которого они подражают, выделяется у окончаний симпатических нервов. Из всех этих веществ (адреналин, норадреналин, эфедрин, мезатон, изадрин), пожалуй, самым важным является сам адреналин — гормон надпочечных желез (его готовят и искусственным путем). Норадреналин мало отличается от адреналина по химическому строению и действию на организм. По своему действию похожи на адреналин алкалоид эфедрин и синтетические средства — мезатон и изадрин. Адренолитические свойства, т. е. способность ослаблять действие адреналина или норадреналина, блокировать чувствительные к адреналину биохимиче-

ские системы, пмеют многие вещества — алкалоиды спорыньи (эрготамин и др.), обладающие также способностью усиливать сокращения матки (маточные средства), препараты редергам и апрессин, снижающие кровяное давление и применяемые для лечения гипертонической болезни.

Как было сказано выше, в нашем организме имеется фермент монооксидаза, который во всех закоулках его подстерегает адреналин, порадреналин и серотонин, «нападает на них» и разрушает, окисляя их. Поэтому действие этих медиаторов кратковременно. Очевидно, действие это можно удлинить и усилить, если подавить активность монооксидазы. Такие средства (ипразид и др.) имеются, но пока еще они недостаточно изучены.

Гистамин и противогистаминные средства

Как известно, молекула белка состоит из многочисленных «кирпичиков» — остатков аминокислот. Одной из таких аминокислот является гистидин, который в организме образует гистамин — физиологически чрезвычайно активное вещество. В медицине гистамин почти не применяется. Да если и применять внутрь, его тотчас разрушает фермент гистаминаза, содержащийся в кишечнике. В здоровом организме гистамин неактивен. Он, как зверь на цепи, который, притаившись, ждет освобождения. Такое освобождение приходит при ряде заболеваний, и вырвавшийся на волю гистамин может наделать немало бед: вызвать воспаление, крапивницу, септическую лихорадку, сывороточную болезнь и др. На помощь в таких случаях приходят противогистаминные средства. Антигистамины в реакцию с гистамином не вступают — они только препятствуют его действию. Пока еще не выяснено, какими химическими путями это осуществляется.

Антигистаминных средств создано немало — димедрол, дипрозин, триметоп и др., но самое известное из них — димедрол. Антигистаминные средства часто обладают и другими ценными свойствами — спотворным, успокаивающим, противоспазматическим.

Средства, влияющие на пищеварение

Великий физиолог И. П. Павлов утверждал, что «аппетит есть первый и могучий возбудитель секреторных нервов желудка». И действительно, средства, возбуждающие аппетит, усиливают деятельность желудочных желез, а желудочный сок, выделяемый ими, усиливает выделение сока поджелудочной железы. Поэтому «аппетитные средства» могут усиливать деятельность главных пищеварительных желез. Самые сильные из этих средств — горечи и приправы к пище. Горечи лучше применять за несколько минут до еды (за 5—6 мин. от начала еды желудок как бы готовится к выделению сока). Они создают контраст между горьким и приятным вкусом (это одна из сторон их воздействия), что делает пищу более вкусной.

Основной источник горечей — различные виды горечавки, а также полыни. К горечам близко примыкает группа пряностей — перец, мята, гвоздика, корица, ваниль, а также горчица, чеснок, содержащие различные эфирные масла и другие вещества острого вкуса (например, горчица содержит раздражающее горчичное масло, чеснок — сернистый диаллил и т. п.). Эти приправы к пище можно назвать вкусовыми средствами. К ним можно отнести виноградные вина и пиво (если, конечно, их применяют в умеренных количествах). Вина действуют благодаря содержащимся в них алкоголю, солям, пахучим веществам, из которых главный компонент — уксусноэтиловый эфир, раздражающий верхние окончания в слизистой оболочке носа и рта; пиво, помимо алкоголя, содержит горькие вещества хмеля. Эти напитки (а также кумыс, кефир, кислый квас, кислые фруктовые сиропы) содержат и кислоты, которые сильно повышают аппетит и выделение сока пищеварительных желез.

Особо необходимо выделить соляную кислоту, как известно, содержащуюся в нормальном желудочном соке. При некоторых заболеваниях ее в этом соке очень мало или совсем нет. Тогда приходится вводить кислоты извне. Но здесь необходима осторожность. Длительное введение соляной кислоты и других неорганических веществ может привести к ацидозу — подкислению организма, а это подрывает здоровье. Гораздо лучше пользоваться органическими кислотами — уксусной, лимонной, молочной, которые организм использует до конца, сжигая их и тем самым не позволяя им нарушать кислотно-щелочное равновесие.

Для пожилых, тучных людей с склонностью к атеросклерозу можно особо рекомендовать лимонную, молочную и винную кислоты, так как уксусная кислота — хороший источник образования холестерина, избытка которого в этих случаях приходится опасаться.

Очень важную роль для лечения расстройств пищеварения играют препараты пищеварительных ферментов. О них речь шла выше в специальной главе о ферментах.

При некоторых болезнях (в первую очередь печени) широко применяются желчегонные средства. Желчь — очень своеобразный пищеварительный сок. На процесс пищеварения действуют главным образом содержащиеся в ней желчные кислоты, которые помогают перевариванию жиров, а это довольно сложный процесс. Прежде всего, чтобы жир всосался в кишечнике, его надо перевести в очень мелкую взвесь (эмульсию) или же расщепить на жирные кислоты и глицерин (что осуществляется специальным ферментом — липазой). Желчные кислоты помогают и в том и в другом случае. Желчь также необходима для усвоения тех витаминов, которые растворяются в жирах. И, наконец, с желчью из организма выводятся некоторые гормоны (эстрогены) и лекарственные вещества.

Желчегонным действием обладают препараты сухой желчи — холезим, аллохол, желчных кислот — дехолин, хологен, некоторые растительные средства — холосас из плодов шиповника, рыльца кукурузы, цветы бессмертника, а также синтетические средства, лучшим из которых можно считать ципарин (эту кислоту содержат артишоки).

Перед врачами часто стоит задача, как бороться с так называемой гиперсекрецией пищеварительных желез. При гиперсекреции пищеварительные железы выделяют избыточное количество соков, а это происходит при некоторых желудочно-кишечных заболеваниях. Длительная гиперсекреция весьма неприятна не только из-за тяжелых ощущений больного, но и по своим последствиям — возникает язва желудка и двенадцатиперстной кишки.

Средства, применяемые при гиперсекреции, можно разделить на две группы: одни из них воздействуют на самый механизм развития гиперсекреции, а он очень сложен: тут и многообразные нервные влияния, и повышенная чувствительность желез желудка и кишечника, выделяющих сок. Эту чувствительность можно снизить соответствующей диетой и введением обволакивающих средств. Нервные

влияния пытаются нормализовать назначением спотворных средств, бромидов и их комбинаций с атропином и болеутоляющими средствами.

Вторую группу средств можно назвать противокислотными, или антацидами («ацидум» — по-латыни — кислота). Их назначение — воздействовать на избыточную соляную кислоту в желудочном соке. Химизм их действия ясен: они должны нейтрализовать соляную кислоту. Казалось бы, путь один — обратиться к вековым врагам кислот — щелочам. Однако требуется осторожность в выборе и дозировке щелочей.

Чаще всего у больных «под рукой» бывает питьевая сода (бикарбонат натрия), и нередко они принимают ее, не посоветовавшись с врачом. Между тем сода малоприспособлена для применения. Нейтрализуя соляную кислоту, она разлагается, выделяя углекислоту, а это вызывает дальнейшее отделение желудочного сока. Кроме того, большие дозы бикарбоната натрия ведут к чрезмерному подщелачиванию крови и всего организма — алкалозу, что очень вредно. Происходит это потому, что щелочи выделяются в самом организме поджелудочной железой. Но если соляная и другие кислоты желудочного содержания уже связаны принятой содой, «собственные» щелочи всасываются обратно в кровь.

Этого можно избежать, если применять антацидные (т. е. связывающие кислоту) препараты местного действия — окись магния, трисиликат магния, карбонат кальция; они не всасываются в кровь и в желудке связывают кислоту, а в кишечнике щелочь. В настоящее время имеется много антацидов, некоторые из них очень эффективны, например викалини. Назначая антациды, врачи стараются только уменьшить избыточную кислотность в желудочном соке, а не нейтрализовать соляную кислоту полностью.

Средства, применяемые при нарушении обмена веществ

С точки зрения химика каждое заболевание организма сопровождается теми или иными изменениями в процессах обмена веществ. И все же некоторые болезни, при которых изменения химического состава, структура органов и тканей играют ведущую роль, выделяют в особую группу тканевых дистрофий (дистрофия — расстройство обмена). Сюда можно отнести атеросклероз, ожирение, жировую дистрофию печени и др.

Ожирение — широко распространенное общее заболевание организма в целом. В США 7% всего населения страдает ожирением, а смертность среди ожиревших людей в два раза выше, чем среди прочего населения. Это доказано и опытами на животных (на крысах), пища которых была богата углеводами и жирами, что вело к усиленному отложению жира в тканях. Такие крысы жили намного меньше, чем контрольные.

Нужно ли доказывать, что главное средство борьбы с ожирением — ограничение углеводов, жиров и воды в пище и физическая культура. Но в ряде случаев приходится прибегать и к лекарствам. Большинство таких химических средств направлено на снижение аппетита. Они явно небезопасны и часто были причиной хронических отравлений, особенно среди женщин США, пользующихся такими средствами для сохранения стройной фигуры.

Печень — центральная химическая лаборатория нашего тела; естественно ожидать, что болезнь нарушает стройный ход химических процессов в этом удивительном органе. Так, например, болезнь Боткина (инфекционный гепатит) и многие другие заболевания сопровождаются ожирением клеток печени. Клетки как бы наводняются жиром и жироподобными веществами, вытесняющими белки, а ведь именно специфические белки-ферменты являются наиболее деятельными катализаторами химических реакций в живой клетке.

То, что происходит при ожирении печени после инфекционного гепатита, весьма напоминает картину отравления печени четыреххлористым углеродом. Этот яд дезорганизует деятельность заключенных в митохондриях ферментов, нарушая нормальное соотношение между жироподобными веществами (липодами) и белками в клетке. Страдают в первую очередь ферменты, регулирующие химические превращения углеводов печени. Естественно, что первым лекарственным средством, о применении которого подумали врачи в этом случае, был виноградный сахар — глюкоза. И действительно, глюкоза уменьшает содержание жира в клетках больной печени, но при одном условии — пища при этом должна содержать достаточное количество белка.

Позднее возникла мысль использовать вместо целой молекулы белка те кирпичики-аминокислоты, из которых она построена. Опыт показал, что это возможно. Аминокислоты — метионин и треонин — с успехом были применены не

только в опытах на животных, но и для лечения болезней печени. Этими аминокислотами богат белок — казеин, содержащийся в свежем твороге, сыре. Эти продукты также весьма полезны при ожирении печени.

В чем секрет успеха такого лечения? Метионин и треонин — своеобразные аминокислоты, легко уступающие свои метильные группы. А процессы трансметилирования и метилирования (перемещения и включения метильных групп) играют немаловажную роль в химизме организма. Широко распространено в нашем теле еще одно вещество, богатое метильными группами, — холин. И он оказался полезным при лечении ожирения печени.

Хорошие результаты в этом случае дают некоторые витамины, в частности аскорбиновая кислота, витамин В₁₂ и фолиевая кислота. Два последних витамина участвуют в процессах переноса метильных групп и синтеза холина и метионина в нашем организме, что, в свете сказанного выше, делает понятным химический механизм их лекарственного действия.

Метионин и холин — липотропные вещества, т. е. предотвращающие отложение жира в печени. Многие ученые полагают, что такого рода средства должны приостанавливать отложение жироподобных веществ, в частности близкого к ним холестерина, в стенке кровеносных сосудов (артерий), а такое отложение можно считать основой грозного и широко распространенного заболевания — атеросклероза. Вопрос этот, однако, еще нельзя считать решенным. Имеются данные, указывающие на то, что некоторые витамины, в первую очередь аскорбиновая кислота, помогают липотропным веществам в их борьбе с атеросклерозом. Если химический механизм действия витамина С не совсем ясен, то в отношении витамина В₁₂ и фолиевой кислоты доказано, что они участвуют в процессах переноса метильных групп и синтеза холина и метионина. Следовательно, они должны помогать при ожирении печени. И действительно помогают, даже тогда, когда в пище очень мало белка и прием одного только метионина не предупреждает развития болезни.

То, что химизм действия этих средств именно таков, можно подтвердить доказательством «от противного». Так, например, употребление химических антагонистов фолиевой кислоты ведет к ожирению печени. К такому же результату приводит и использование одного из витаминов группы

В — пикотиновой кислоты, потому что в организме эта кислота жадно отнимает метильные группы у холина, а это ведет к недостатку холина в организме и тем самым к ожирению печени.

Противомикробные средства

Еще со школьной скамьи мы знаем, что микробы являются возбудителями многих болезней. С такими патогенными микробами можно бороться, применяя различные химические вещества, вызывающие гибель микроорганизмов (микробицидные или бактерицидные средства) или же подавляющие способность микробов к размножению; такое состояние называют микробостазом, или бактериостазом, а средства, прекращающие размножение микробов, — бактериостатическими.

В руках современной медицины такие «химпотерапевтические» средства стали мощным оружием. Но даже в спасенном от гибели организме микробы могут длительно сохраняться во внутренних органах — печени, селезенке, а также в лимфатических узлах. Полное излечение, т. е. окончательное уничтожение ослабленного возбудителя болезни, организм осуществляет своими собственными силами, с помощью тех защитных средств, которые он вырабатывает сам. Вот почему каждый врач для полной победы над инфекционным заболеванием стремится воздействовать не только на возбудителей его, но и на организм хозяина, т. е. больного, чтобы всячески поддержать его способность к самообороне. В этом случае лекарства играют немалую роль. Каковы же химические механизмы действия противомикробных средств?

Каждая бактериальная клетка заключена в особую оболочку. Это не только ее «платье», но и своеобразный ОРУД, регулирующий осмотическую среду клетки, т. е. процесс проникновения и выхода через эту оболочку воды и многих растворимых, жизненно важных для микроба веществ. Построением и работой такой оболочки ведают специальные катализаторы — ферменты. Деятельность именно этих ферментов обычно и подавляют химпотерапевтические средства, которые воздействуют на бактериальную оболочку, дезорганизуя ее регулирующие «барьерные» функции. Так, очевидно, действует широко известный пенициллин, выступая в роли «убийцы микробов». Несколько иначе ведут себя

другие враги микробов типа полимиксина. Они, вероятно, как бы отвлекают наиболее активных регулировщиков в самой оболочке (полифосфатов), связывая их, и проламывают бреши в барьере, что ведет к гибели микроба.

Совсем по-другому борются с микробами бактериостатические вещества типа левомицетина, тетрациклина или сульфаниламидов. Они не вламываются грубо в жизненно важные центры оболочки микроба, но действуют «деликатно», мешая работе только одного фермента или группы ферментов. Но, как и каждая клетка, бактерия содержит огромное количество самых разнообразных ферментов или групп ферментов. Отсюда следует, что химические механизмы бактериостатического действия различных веществ могут быть бесконечно разнообразными в зависимости от места включения данного вещества в биохимизм микроба. Некоторые из этих механизмов в основных своих чертах уже выяснены, другие пока еще изучаются. Остановимся на химизме действия сульфаниламидных препаратов и антибиотиков, поскольку эти лекарственные вещества играют огромную роль в современной медицине как противомикробные средства.

Сульфаниламид — родоначальник современных сульфаниламидных препаратов — был синтезирован более полувека тому назад. Но в то время его считали пригодным лишь для производства красок и только в 1935 г. врачи обратили внимание на его лечебные свойства. С тех пор за истекшее тридцатилетие миллионы больных были излечены с помощью сульфаниламидов. Химики синтезировали большое количество сульфаниламидов, из которых в медицине нашли применение около двадцати, среди них широко известны стрептоцид, порсульфазол, сульфадимезин, фталазол и др. Это по существу производные белого стрептоцида (сульфаниламида). И все они, обладая противомикробным действием, не вызывают непосредственной гибели микробов, но имеют не менее ценное свойство задерживать рост, размножение микробов, подавляя их жизнедеятельность.

Как это происходит? Никакой современный химический завод не сравнится по сложности химических процессов с одноклеточным микробом, который сам строит сложнейшие вещества (белки и нуклеопротеиды), необходимые для его роста и размножения, сам же производит строительный материал, своего рода «кирпичики» — органические вещества сравнительно простого строения. Заготовка таких «кпр-

пичиков» происходит при непрерывном участии параампнобензойной кислоты — ПАБК, при отсутствии которой рост и размножение микроба невозможны. А что, если попытаться «обмануть» микроба, «подсунуть» ему вместо ПАБК сульфаниламид, который по своему химическому строению похож на ПАБК, но выполнять ее функции не может! Современная медицина широко пользуется подобными приемами.

Не следует думать, что действие сульфаниламидов основано на конкуренции и подмене собой параампнобензойной кислоты, участвующей в синтезе белков-ферментов. Параампнобензойная кислота необходима для синтеза и других очень важных для жизнедеятельности микробов веществ, например фолиевой кислоты, играющей в свою очередь большую роль в синтезе важнейших для жизни бактерий пукленновых кислот. Тут уместно вспомнить, что фолиевая кислота — один из витаминов группы В, который необходим не только микробам, но и человеку. Этот витамин готовит полезные для организма бактерии кишечной флоры. Если злоупотреблять приемом сульфаниламидов, они могут подавить кишечную флору и вызвать состояние недостаточности витаминов (гиповитаминоз), в первую очередь фолиевой кислоты, и соответствующее заболевание.

Бактериостатическое действие лекарственных веществ осуществляется и иными путями. Так, например, широко известный стрептомицин врывается в оболочку микроба и подавляет активность фермента, ведающего превращением очень нужного для обмена веществ кофермента А. Антибиотик левомецетин тормозит соединение ампинокислот друг с другом и образование очень важной аминокислоты — триптофана. Тетрациклины, как раки, захватывают своей клешней ионы металлов — магния, марганца, необходимых для активности определенных ферментов, и этим дезорганизуют процессы биологического восстановления, т. е. дегидрирования. Нередко одно и то же лекарственное средство (например, пенициллин) действует как бактериостатически, так и бактерицидно в зависимости от его концентрации. (Для бактерицидного действия концентрация должна быть в несколько раз больше.) Надо полагать, что химизм действия в обоих этих случаях различен.

Лет двадцать тому назад было установлено, что если крысам с седой шерстью скормить ПАБК, то их шерстка темнеет. За это открытие ухватились капиталистиче-

ские фармацевтические фирмы, которые стали рекламировать ПАБК как средство против поседения волос человека. Но оказалось, что большим любителем ПАБК, потребляющим ее в значительных количествах, является злейший враг человека — туберкулезная палочка. Средством от седых волос неосторожный покупатель подкармливал «своих» туберкулезных палочек!

Ученые сумели все же использовать это обстоятельство для борьбы с туберкулезом. Если взглянуть на химические формулы известного противотуберкулезного средства — парааминосалициловой кислоты — ПАСК и парааминобензойной кислоты — ПАБК, то каждому бросится в глаза сходство химического строения. Это сходство «обманывает» и туберкулезную палочку, рост которой ПАСК угнетает (поскольку эта кислота не может выполнять функции своего двойника) и тем самым вносит полный разлад в обмен веществ туберкулезной палочки.

Все это, конечно, нельзя понимать слишком упрощенно. Химические механизмы действия лекарств в живой клетке очень сложны и многое в их понимании пока основано на догадках. Рассмотрим, например, такой случай.

Сульфамиламиды по своему химическому строению также похожи на ПАБК и являются ее антагонистами, но на туберкулезную палочку они почти не действуют. Напротив, ПАСК угнетает рост только туберкулезных палочек, хотя ПАБК, с которой она конкурирует и которую подменяет, играет первую скрипку в обмене веществ многих других бактерий. Как это объяснить? И тут снова догадка: другие бактерии могут превращать ПАСК в ПАБК, а туберкулезные палочки этого делать не могут. Совсем по-другому подавляет рост туберкулезной палочки фтивазид (и сходные с ним препараты, получаемые из изоникотиновой кислоты). Если туберкулезные палочки сделать устойчивыми к фтивазиду, они остаются чувствительными и к ПАСК и к стрептомицину. Значит, химический механизм действия фтивазида совсем иной. Но какой именно?

Здесь мы снова попадаем в область догадок. Возможно, что фтивазид вступает в связь с жизненно необходимыми для бактерий соединениями и выводит их из строя. Подмечена и способность фтивазида тормозить работу бактериального фермента — диаминооксидазы. Есть указания и на антагонизм между фтивазидом и похожими на него веществами группы витамина В₆.

Широко известны антибиотики левомицетин и синтомицин, с успехом применяемые для лечения многих болезней (тифов, дизентерии, воспаления легких и др.). Собственно говоря, «лечит» только левомицетин, а синтомицин задерживает рост и размножение бактерий только потому, что в его составе имеется левомицетин. Этот антибиотик не подавляет активность бактериальных ферментов, а задерживает рост микробов, «пользуясь» своим сходством с аминокислотой — фенилаланином. Впрочем, по мнению некоторых ученых, в борьбе с микробами левомицетин как бы исходит из принципа: «без белка нет жизни» и дезорганизует синтез белка в бактериальной клетке.

Выше мы рассказывали об антибиотиках и сульфаниламидах — наиболее видных представителях противомикробных средств. Напомним, что они применяются для борьбы не только с микробами, но и с болезнями, вызываемыми вирусами или паразитами, а также с злокачественными (раковыми) новообразованиями. Но наряду с антибиотиками и сульфаниламидами на вооружении современной медицины имеются самые разнообразные химические препараты, губительно действующие на возбудителей болезней и также используемые для целей химиотерапии. Остановимся на некоторых примерах.

В первую очередь здесь надо назвать малярию. Вся история борьбы с этим злейшим бичом человечества тесно переплетается с химиотерапией. Кому неизвестен хинин? Пожалуй, это замечательное лекарственное средство скоро будет забыто, поскольку в нашей стране малярия побеждена, и это одно из самых замечательных достижений советского здравоохранения. А хинин был единственным надежным средством борьбы с малярией еще в начале нашего века. Более того, наши предки не отличали малярию от других лихорадок, и именно хинин помог выделить это грозное заболевание, на возбудителя которого он специфически действует.

Возбудители малярии — паразиты из рода плазмодиев, которые проделывают сложный цикл развития в организме человека и в теле комара рода Анофелес. Противомаларийные средства многообразны и действуют по-разному на разные стадии развития паразита в организме человека. Они могут полностью уничтожить паразита или только прекратить лихорадочные приступы; их действие может осуществить химиопрофилактику, т. е. предотвратить появ-

ления паразитов в крови, предупредить рецидивы болезни и заражение комара от лиц, больных малярией.

Химические механизмы действия этих препаратов, несомненно, различны. Некоторые из них дезорганизируют обмен веществ паразита, мешая ему усваивать белковую часть гемоглобина эритроцитов крови, другие действуют на эритроциты так, что они теряют свою «привлекательность» для паразита, третьи — поражают те формы паразита, которые находятся внутри эритроцитов или тканевых клеток, причем повреждают жизненно важные соединения пуклеиновых кислот с белками — пуклеопротеиды. Сульфаниламиды, обладающие противомаларийными свойствами, и здесь не отказываются от своей «коварной привычки», они проникают в самую гущу обмена веществ паразита, пользуясь своим сходством с витамином — парааминобензойной кислотой. Действие акрихина основано на его сходстве с витамином — рибофлавином. Другие противомаларийные средства имитируют другие витамины. Даже классическое противомаларийное средство — хинин, — возможно, действует на возбудителя малярии благодаря отдаленному сходству с витамином В₆ — пиридоксолом.

Маларийный паразит — существо довольно требовательное. Ему необходимы разнообразные питательные вещества, в первую очередь некоторые витамины. Недостаток витамина А, рибофлавина, аскорбиновой кислоты, парааминобензойной и пантотеновой кислот, метионина может задержать (иногда полностью) размножение возбудителей малярии. Интересно, что недостаток других витаминов, например никотиновой кислоты или холина, наоборот, способствует размножению паразита. Для борьбы с другими паразитами человека и животных — амебами, к которым относятся ламбли (возбудители болезней кишечника, реже печени) и трихомонады (вызывающие заболевания половой сферы), применяют акрихин, осарсол и другие средства, химизм действия которых, возможно, похож на упомянутый выше, но пока еще полностью не изучен.

Антисептические и дезинфицирующие средства

Почти 100 лет тому назад английский хирург Листер стал распылять карболовую кислоту для предупреждения нагноения ран во время операции. Он назвал этот метод «антисептическим» (по-гречески «анти» — против, «сеп-

спс» — гниение), так как считал, что заражение ран происходит от гниения тканей под действием миазмов, находящихся в воздухе. В то время почти ничего не знали о бактериях, являющихся возбудителями раневых и других инфекций. Некоторое время спустя эти бактерии были открыты и изучены и термин «антисептик» потерял свое первоначальное значение.

В настоящее время антисептическими средствами называют вещества, применяемые для местного воздействия на гноеродных микробов при лечении ран, фурункулов и других заболеваний, а дезинфицирующими — средства, помогающие уничтожить болезнетворных микроорганизмов в окружающей среде.

Каков механизм действия этих веществ? Он зависит от их химических и физико-химических свойств. Кислоты и щелочи в известной степени действуют на микробов водородными или гидроксильными ионами, которые они отщепляют, так как клетка микроорганизма не безразлична к этим ионам. При местном воздействии кислоты и щелочи оказывают раздражающее и прижигающее действие, образуя с белками тканей так называемые альбуминаты. Подобного рода альбуминаты образуются и при взаимодействии с белками солей тяжелых металлов: чем плотнее альбуминат, тем сильнее выражено вяжущее действие. Наиболее плотный альбуминат образуют соли алюминия, затем идут соли свинца, железа, меди, серебра, а соли ртути дают самый рыхлый альбуминат.

Но на микробов тяжелые металлы действуют губительно: с одной стороны, осаждают белки (их протоплазму), а с другой — поражают жизненные центры обмена веществ бактериальной клетки, врываясь в самую гущу химических превращений в них и выводя из строя тиоловые (сульфгидрильные) группы важнейших ферментных белков; именно это вызывает торможение роста и размножение микробов или их гибель.

В качестве антисептических и дезинфицирующих средств широко применяются хлор и йод и такие их соединения, из которых эти элементы легко выделяются в свободном виде. Разберемся в химизме сильного бактерицидного действия хлора. Он бьет микробов двумя химическими дубинками. С одной стороны, хлор сначала связывается с белками бактериальной клетки и как бы перевооружается при этом, потому что образует соединения (типа хлорами-

нов), которые легко выделяют хлор в свободной, очень активной форме. Такой хлор тотчас вступает в реакцию окисления с клеточными ферментными белками и разрушает их. С другой стороны, газообразный хлор, растворяясь в воде, образует кислород, который в момент выделения обладает сильными окисляющими свойствами. При этом образуется хлорноватистая кислота — сильнейший окислитель, приводящий в бездействие сульфгидрильные группы важнейших ферментов бактериальной клетки.

Прекрасным антисептиком является и свободный йод, который, йодируя и окисляя ферментные системы микробных клеток, приводит их к гибели.

На вооружении широко известных антисептиков: перекиси водорода и перманганата калия кислород, который в момент выделения исключительно агрессивен: он тоже разрушает ферментные белки бактериальных клеток путем окисления.

Сдавая на анализ кровь, задумались ли вы над вопросом — почему лаборант предварительно очищает кожу пальца спиртом? Для удаления жира, ответите вы — и не ошибетесь. Но главная цель — обеззараживание кожи, дезинфекция. Для этой цели разбавленный водой спирт пригоднее, чем неразбавленный. Дело в том, что спирт обладает способностью осаждавать (коагулировать) белки. Если его концентрация превышает 70° , то осажденные белки образуют пленку, мешающую спирту оказывать противомикробное действие. Обеззараживающее действие оказывает даже сильно разбавленный спирт. Для дезинфекции кожи лучше всего пользоваться 70° спиртом.

Хорошим дезинфицирующим средством является формальдегид, который применяют в газообразном или жидком состоянии (растворенный формальдегид называют формалином). Как известно, молекула белков состоит из множества «кирпичиков» — аминокислот. Формальдегид «набрасывается» на аминогруппы, «торчащие» на поверхности молекул микробных белков, блокирует, и этим вызывает их осаждение, а следовательно, и гибель микроба. Если формальдегид связать с аммиаком, получается уротропин, который при действии кислоты распадается, выделяя свободный формальдегид. Поэтому уротропин можно использовать для лечения инфекций мочевыводящих путей.

Свойством осаждавать белки и разрушать ферментные системы микробной клетки обладает и фенол (карболовая

кислота), часто применяющийся для дезинфекции. Деятельность бактериальных ферментов угнетают также красители и многие другие вещества, используемые в качестве антисептиков.

Противоглистные (антигельминтные) средства

Противоглистные химические средства были, пожалуй, первыми химиотерапевтическими лекарствами в истории человечества. Об эффективности таких лекарств легко было судить по отхождению глистов после их приема. Современная медицина тоже с успехом пользуется некоторыми противоглистными средствами вроде папоротника, хеноподиевого масла, цитварного семени и коры гранатника, которые с честью служили нашим предкам еще 2 тыс. лет тому назад. Но за последние десятилетия открыт ряд химических средств, действие которых основано на своеобразии химических и физиологических свойств гельминтов (глистов). После вторжения (инвазии) в кишечник человека гельминт для закрепления своих позиций пользуется мощными оборонительными средствами. Благодаря им ферменты пищеварительных соков нашего тела, способные расщеплять любые белки, не могут разрушить белки, входящие в состав оболочки (кутикулы) гельминтов. Бесценен даже такой сильный фермент, как трипсин. Вероятно, это происходит потому, что паразит выделяет антитрипсин, способный парализовать действие трипсина.

На помощь врачам пришел опыт народной медицины. Народы Южной Америки с незапамятных времен пользуются плодами дынного дерева как противоглистным средством. Оказалось, что это растение содержит фермент — папаиназу, которая способна расщеплять белок гельминтов. Препараты этого растительного фермента с успехом применяются в медицине. Некоторые химические вещества (гексил- и гептилрезорцин) тоже способны повреждать кутикулу гельминта, а также проникать в его тело.

Интересен другой способ борьбы с кишечными глистами, основанный на том, что они не переносят кислорода, так как живут вне доступа воздуха. Если вдуть в желудок или кишечник человека кислород, гельминты погибают. Что же происходит с ними при этом? Очевидно, в тканях

паразита образуется богатая кислородом и очень ядовитая перекись водорода в таком количестве, что фермент — каталаза, ведающий ее расщеплением, не справляется со своей задачей.

И, наконец, для борьбы с глистами можно использовать и то обстоятельство, что эти паразиты, как и любые другие живые существа, подвержены действию наркоза. Собственно говоря, наркотические средства, применяемые для борьбы с гельминтами (четырёххлористый углерод, тетрахлорэтилен и др.), пожалуй, более ядовиты для человека и животных, чем для гельминтов. Но они медленно всасываются в кишечнике и быстро выделяются из организма и потому действуют в первую очередь на глистов, а не на организм их хозяина.

Вообще противоглистное действие могут оказывать многочисленные вещества такого разнообразного химического строения, что у биохимиков-фармакологов просто опускаются руки. Нет никакой возможности найти хотя бы только одну черту строения, общую для всех противоглистных средств. Скажем тут же, что для некоторых отдельных групп противогельминтных веществ удалось установить связь между химическим строением и силой лечебного действия.

Из 150 видов глистов, встречающихся в организме человека, некоторые паразитируют вне кишечника в различных органах и тканях (трихинелла, рипта, филярии и др.). С такими глистами особенно трудно бороться химическими средствами. Так, советский препарат дитразин хорошо действует против филярии, хотя химический механизм его действия пока неясен. Биохимики все же нащупали «ахиллесову пяту» тканевых гельминтов. Оказывается, эти паразиты отличаются особой интенсивностью обмена веществ, поэтому можно подобрать химические вещества (ингибиторы), которые обладают способностью подавлять окислительные процессы в тканях паразита и тем самым губить его.

Необходимо помнить, что все противоглистные средства в той или иной степени ядовиты для человека и при их приеме обязательна особая точность в соблюдении всех предписаний врача.

Мочегонные средства

Наше тело почти на три четверти своего веса состоит из воды, причем половина веса тела приходится на долю внутриклеточной воды. Внеклеточной воды значительно меньше — всего 15% веса тела, по именно к этой части воды приковано внимание врачей при ряде заболеваний, сопровождающихся развитием отека. Болезни эти могут быть самыми различными, но во всех случаях основная причина образования отека — задержка в организме солей натрия; накопление воды (отек) — только следствие. Это происходит потому, что организм регулирует концентрацию натрия во внеклеточной воде и тщательно поддерживает его на одном уровне всеми имеющимися в его распоряжении средствами, в частности, увеличивает объем внеклеточной воды. Поэтому «настоящие» мочегонные — только средства, уменьшающие общее количество натрия (и некоторых других электролитов) в организме. Такие мочегонные как бы заставляют почки выводить задержанный в организме натрий, причем необходимое для этого количество воды забирается из внеклеточной воды.

Почки выводят из нашего тела главную массу воды и солей, но делают это «с разбором», возвращая путем обратного всасывания часть воды и солей, которые необходимы для обеспечения постоянства объема циркулирующей крови и состава жидкостей организма. Естественно, что в развитии отека при любом заболевании играет роль уменьшение способности почек выводить соли и воду. Поэтому почки являются объектом действия мочегонных, которые влияют на работу этого органа. Усиление мочеобразования, обусловленное возрастанием в почечных канальцах количества солей или веществ, которые не всасываются обратно, принято называть «осмотическим диурезом». Основная группа мочегонных средств (соли калия и мочевины) — осмотические диуретики, причем мочевина — самое безопасное (хотя и не самое эффективное) средство. Обычно с мочой выводится не более 2% перешедшего в фильтрат натрия, а «осмотические диуретики» могут «выгнать» до 30%.

Другая группа мочегонных, или диуретических, средств — соли аммония и кальция — действует несколько иначе. Разлагаясь в организме, они образуют соляную кислоту, которая отнимает натрий от его двууглекислых со-

лей — бикарбонатов, содержащихся во внеклеточной воде. Образуется избыточное количество хлористого натрия, который выводится с мочой. Обратной стороной медали здесь является то, что бикарбонаты нужны нашему телу: они образуют щелочной резерв, нейтрализующий избыток кислот. Поэтому чрезмерное применение мочегонных средств этой группы может повести к ацидозу организма.

С опасностью ацидоза необходимо считаться, когда мочегонные средства (главным образом сульфаниламидные препараты) вмешиваются в ферментативную деятельность почек. Почечная ткань богата ферментом карбоангидразой. Известно, что некоторые химические вещества могут подавлять и даже парализовать, или ингибировать, активность ферментов. Некоторые сульфаниламиды (диакарб) являются ингибиторами карбоангидразы, которая играет важную роль в задержке натрия в организме, способствуя обратному его всасыванию. Под влиянием мочегонных средств избыток натрия выводится с мочой в виде бикарбонатов, количество которых (щелочной резерв) в жидкостях тела уменьшится, а это приведет к подкислению организма — ацидозу.

Наиболее мощным мочегонным действием обладают соединения ртути (меркузал и другие). Известны случаи, когда прием однократной дозы меркузала доводил количество мочи у отечных больных до 20 л в сутки! Механизм мочегонного действия ртутных солей — это частный случай проявления токсичности таких препаратов. Он заключается в том, что ртуть угнетает тиоловые (содержащие серу) группы, которые имеются во многих ферментах, в том числе и в ферментах почечной ткани. Таким образом, дезорганизуется работа ферментов почек: они начинают «пропускать» с мочой большое количество натрия, что способствует быстрому выделению внеклеточной воды (и небольшого количества клеточной).

Ядовитость ртутных препаратов мешала их применению. Однако биохимики сумели разобраться в особенности химического механизма действия этих препаратов. Оказывается, если ввести в такой препарат тиоловую группу, его токсическое действие на сердце можно уменьшить в 150 раз, а мочегонные свойства не изменяются. В данном случае тиоловые группы как бы отвлекают на себя соли ртути, мешая им отравлять тиоловые ферменты других клеток, в частности сердечной мышцы.

Ртутные мочегонные средства очень эффективны, особенно если их сочетать с кислотообразующими солями, но требуют большой осторожности. Применяя их, нельзя «переборщить» и стремиться вывести из тела отечного больного побольше натрия, хлористых солей (хлоридов), воды. Организм не любит крайностей и если избыток этих веществ ему вреден, то не менее вреден недостаток натрия, хлоридов или воды, что может повести к последствиям, угрожающим жизни больного.

В состав чая, кофе, какао (и шоколада) входят теофиллин и теобромин — ближайше химические родственники широко известного сердечного средства — кофеина. Это так называемые ксантиновые диуретики, механизм мочегонного действия которых пока не совсем ясен. Можно только сказать, что они угнетают обратное всасывание воды и таким образом обеспечивают быстрое выведение ее почками. Диуретики этой группы не очень эффективны, но полезны при отеках, связанных с сердечной слабостью.

Сравнительно недавно синтезирован сульфаниламидный препарат гидрохлортиазид — эзидрекс. Пожалуй, это самое лучшее из современных мочегонных средств — очень мало ядовитое и весьма действенное. Можно предположить, что химический механизм его действия заключается в угнетении активности тех ферментов в почках, которые обеспечивают обратное всасывание натрия.

Слабительные средства

По своему химическому составу и действию на организм эти весьма прозаические, но часто очень полезные человеку средства различны. Одни из них (сенна, ревень, крушина, сабур) повышают подвижность толстых кишок. Все они содержат различные производные органического вещества антрахинона, чаще всего связанные с каким-либо сахаром в виде гликозидов. Когда такой гликозид попадает в кишечник, на него «набрасываются» щелочи, ферменты, бактерии, которые совместными усилиями расщепляют гликозид, как говорится, «на свою голову», потому что освободившиеся производные антрахинона сейчас же начинают раздражать окончания нервов в стенках кишок. В результате этого перистальтика кишок усиливается, что способствует быстрому выведению каловых масс. Таким же механизмом слабительного действия отличаются неко-

торые искусственно приготовленные химические вещества (пурген, изафенин), а также очищенная сера.

Но есть и такие химические вещества, которые «не разбрасываются» — тонкие ли или толстые кишки, хотя все же последним отдают предпочтение. Такие вещества раздражают слизистые оболочки всего желудочно-кишечного тракта. Здесь первое место принадлежит хлористой ртути (каломели), занимающей особое место среди слабительных. Принятый внутрь каломель под влиянием пищеварительных соков и щелочей среды в кишечнике частично переходит в растворимые соединения (вероятно, с белками) ртути, которые слегка раздражают первые окончания (рецепторы) в кишечнике и этим ускоряют продвижение каловых масс. Хорошая сторона каломели — его свойство подавлять гниение и брожение в кишечнике.

Но каломель нельзя долго оставлять в кишечнике, потому что растворимые соединения ртути, всасываясь, могут вызвать отравление всего организма. Поэтому, если каломель не оказал слабительного действия, необходимо дать другое слабительное (солевое). Такие солевые слабительные — сульфат магния (английская соль), сульфат натрия (глауберова соль) — препятствуют всасыванию воды, имевшейся в кишечнике и введенной с солью. Вследствие этого в кишечнике накапливается большое количество жидкости, которая своей массой раздражает рецепторы кишечника, что ускоряет удаление каловых масс. Солевые слабительные мешают усвоению жиров и удаляют из пищи и пищевые вещества, поэтому эти соли (или содержащие их минеральные воды) применяют при ожирении.

Противоопухолевые средства

Когда во время первой мировой войны впервые были применены боевые отравляющие вещества, никто не мог себе представить, что они будут использованы на благо человечества. Прошло тридцать лет, и ученые пришли к мысли, что разрушающее действие одного из самых сильных отравляющих веществ — иприта — можно использовать для борьбы с опухолями. Но прежде всего несколько слов о раковых опухолях и химических средствах борьбы с ними.

Злокачественные опухоли (рак, саркома) — это усиленное размножение клеток, ведущее к безграничному росту (и в этом главная опасность) новообразованной опухо-

левой ткани, которая давит на соседние органы, прорастает сквозь ткани, дезорганизует их работу. Цель химиотерапии — подавить активность опухолевых клеток или полностью уничтожить их.

Можно ли создать такое химическое средство, которое позволяло бы успешно лечить все опухоли? Едва ли. Хотя опухоли — заболевание всего организма, но они очень разнообразны по ряду признаков (в том числе и биохимических). В химии опухолей много еще «белых пятен», но уже сейчас можно с уверенностью сказать, что большую роль в возникновении опухолей играет нарушение обмена нуклеиновых кислот. Роль этих кислот в процессах жизни огромна. Именно нуклеиновые кислоты являются одновременно и архитекторами и производителями работ по сооружению огромных молекул клеточных белков, а там где нет белка — нет жизни.

Различные производные пирита обладают способностью вступать в соединения с нуклеопротеидами (белок и нуклеиновая кислота) опухолевых клеток, что связано с резким нарушением их химизма и является причиной их гибели. К сожалению, такие препараты (эмбихин, повэмбихин, допан, сарколизин) и несколько отличающиеся от них производные этиленмина, попав в организм, «бьют направо и налево», не щадя и здоровые ткани. Другими словами, они токсичны, ядовиты. Но в борьбе с опухолями пока приходится пользоваться даже не совсем безопасным для больного оружием, конечно, всячески стараясь уменьшить его отрицательное действие, применяя различные химические средства, переливание крови и т. д. Но разве нельзя считать достижением то, что химиотерапией лимфогранулематоза (опухолевое заболевание крови) удается продлить жизнь больных на 10 лет!

Химиотерапия раковых опухолей начала развиваться и по тому направлению, которое оправдало себя при лечении многих других болезней. Это путь подражания химическому строению веществ — метаболитов, принимающих участие в биохимических процессах, происходящих в организме. Таким путем создаются вещества, вытесняющие метаболит из его химической реакции и таким образом нарушающие ее ход. Здесь наметились два пути: первый — создание таких химических средств (похожих на витамины или ферменты), которые блокируют в самом начале синтеза нуклеиновых кислот в опухолевой клетке (между такой

и нормальной клеткой имеются некоторые различия в обмене нуклеиновых кислот); второй путь — поиски таких веществ (антагонисты пурина и пиримидина, входящих в состав нуклеиновых кислот), которые могли бы извратить синтез нуклеиновых кислот в раковой клетке уже в конце этого синтеза. Наиболее интересны в этом отношении — антагонисты витамина группы В — фолиевой кислоты и близкий по химическому строению к одному из пурinov (аденину) 6-меркаптопурин.

В химиотерапии раковых опухолей пока еще сделаны первые шаги, но нет никакого сомнения, что уже в ближайшем будущем она сыграет огромную роль в деле окончательной победы над этим злейшим врагом человека.

Витамины как лекарственные средства

Более 50 лет тому назад в обиход научной медицины вошло слово «витамины» (от латинских слов «вита» — жизнь и «амин» — азотистое соединение). И хотя этот термин не совсем правилен — азот содержится не во всех витаминах, — он получил широкое распространение в быту. Кому из нас не известно, что ценность пищи зависит не только от содержания белков, жиров, углеводов, минеральных солей и воды, но и витаминов. Правда, особенность витаминов в том, что наш организм требует их в исключительно небольших количествах — одна десятая, одна сотая грамма, а то и значительно меньше (для разных витаминов по-разному). Но «из искры возникает пламя», и витамины подобны такой искре, зажигающей обмен веществ, без которого жизнь немыслима.

Если пища не содержит витаминов, возникают состояния витаминной недостаточности — авитаминозы, ведущие к таким заболеваниям, как цинга, целагра, рахит, куриная слепота. Впрочем, эти болезни в нашей стране встречаются крайне редко. А вот проявления частичной недостаточности витаминов — гиповитаминозы — встречаются довольно часто. Злоупотребление алкоголем и курением, заболевания, сопровождающиеся поносами, длительное однообразное питание, неправильное самолечение сульфаниламидами (стрептоцид, норсульфазол и др.) — вот некоторые из возможных причин гиповитаминозов. Следует всегда помнить, что больше витаминов требуется беременным и кормящим матерям, работникам тяжелого физичес-

кого и умственного труда, выздоравливающим после тяжелых болезней. Тут витамины выступают в роли лекарственных средств. Обычно витамины делят на две группы: водорастворимые и жирорастворимые. Представителями первой группы являются витамин С и витамины группы В. К жирорастворимым относятся витамины А, Д, Е, К.

Аскорбиновая кислота (витамин С), — пожалуй, самый популярный из всех витаминов. Популярность эта вполне заслужена — этот витамин активно участвует в химизме многих процессов обмена веществ в нашем теле. Аскорбиновая кислота принимает участие в процессах окисления — восстановления (переносит водород) и в обмене аминокислот (способствует образованию такого жизненно важного соединения, как ДНК — дезоксирибонуклеиновая кислота), она необходима для синтеза гормонов, для образования костной и хрящевой ткани, коллагена¹, для заживления ран. Это очень убедительно показал на себе один ученый. В течение 6 месяцев он совершенно не принимал витамина С, затем нанес себе рану, рана долгое время не заживала, но как только ученому ввели 1 г аскорбиновой кислоты, рана зажила в течение 10 дней. Аскорбиновая кислота влияет на кроветворение, помогает организму справиться с отравлениями. И еще одно хорошее качество у аскорбиновой кислоты — сама она почти безвредна. Даже когда ее принимали в 100 раз больше, чем это требуется организму (обычная потребность в ней колеблется от 25 до 75 мг в сутки), никаких вредных последствий не наблюдалось.

Постоянный спутник и верный помощник аскорбиновой кислоты — витамин Р. Он улучшает состояние капилляров — тончайших волосных сосудов, доставляющих кровь во все участки нашего тела. Какими путями удастся этому витамину уменьшать хрупкость капилляров — достоверно не выяснено, а предположить можно многое. Возможно, что витамин Р угнетает действие фермента гиалуронидазы, расшатывающего прочность стенки этих сосудов, противоборствует гистамину или же замедляет окисление адреналина, влияет на свертываемость. Возможно также, что этот витамин усиливает действие аскорбиновой кислоты или же прямо влияет на капилляры. Препаратами этого витамина с успехом пользуются для лечения многих болезней, при которых повышается хрупкость капилляров.

¹ Коллаген составляет основу волокон соединительной ткани.

К водорастворимым витаминам можно отнести тиоктовую кислоту, которая принимает участие в окислительно-восстановительных процессах нашего тела, благодаря содержанию в ней двух атомов серы, отщипывающих водород у других соединений (и тем самым восстанавливающих их). Врачи прописывают эту кислоту при некоторых заболеваниях печени.

В группе водорастворимых витаминов В много витаминов. О «первом среди равных» — витамине В₁ (тиамин) — мы уже упоминали в начальной части брошюры. Механизм действия другого витамина — В₂ (рибофлавина) — чрезвычайно многообразен. Рибофлавин входит в состав многих ферментов и играет особо важную роль в обмене углеводов. Этим витамином лечат многие болезни, в первую очередь заболевания кожи, глаз, мышц.

Витамин В₆ играет важную роль в обмене некоторых аминокислот и белков, необходим для синтеза гемоглобина крови и «мимоходом» успевает «заниматься» процессами образования жиров и водного обмена. Собственно говоря, под маркой «витамин В₆» скрываются три родственных соединения: пиридоксин, пиридоксаль и пиридоксамин. Но несмотря на широкое участие их в химизме организма, витамин В₆ как лекарственное средство применяется сравнительно редко.

Гораздо шире применяется витамин В₁₂. Этот витамин по всем признакам имеет отношение к синтезу нуклеиновых кислот, а ведь нуклеиновые кислоты «командуют парадом» в химических процессах, происходящих в клетках нашего тела. Именно нуклеиновые кислоты обладают чудесным свойством самовоспроизводства, выступая в роли матрицы, на которой специальные ферменты собирают из составных частей-деталей точную ее копию — вторую молекулу нуклеиновой кислоты — и одновременно «заставляют» клетку производить необходимые белки-ферменты. Витамин В₁₂, по-видимому, необходим для заготовки упомянутых выше деталей.

Витамин В₁₂ участвует и в химическом транспорте особого назначения, предназначенного для нормального передвижения жироподобных веществ в нашем теле. Он принимает активное участие и в процессах окисления — восстановления.

Хотя история витамина В₁₂ началась с установления того, что недостаток его — наиболее частая причина злока-

чественной анемии (малокровия), его применение в наше время вышло далеко за пределы борьбы с анемией. Этим витамином лечат болезни нервной системы, кожи, задержку роста и развития детей, отравления и другие болезни.

Мы уже упоминали, что в группе витаминов В собралась самая «разношерстная» (химически) компания. Из ее членов хорошо изучена никотиновая кислота (витамины РР, «противопеллагрический» витамин). Роль ее в химизме клеточного дыхания очень велика, она активный участник переноса водорода к дыхательным ферментам. Недостаток никотиновой кислоты может вызвать нарушения в самых ответственных звеньях обмена веществ и как следствие — болезни (например, пеллагру). Потребность нашего тела в этой кислоте возрастает при тяжелой физической работе, при инфекционных болезнях и при ряде других заболеваний. Никотиновая кислота выступает не только в роли витамина, но и «чисто» лекарственного средства, так как обладает способностью расширять сосуды головы, сердца и конечностей. Она очень мало ядовита.

Близкий химический родственник никотиновой кислоты — витамин группы В — парааминобензойная кислота — ПАБК. О ней уже говорилось во вводной главе. Добавим, что лекарственная эффективность самой ПАБК невелика. Ее значение главным образом в том, что она входит в состав очень важного витамина — фолиевой кислоты. Фолиевая кислота («листочковая», так как была получена из листочков шпината) — действительно очень важный витамин, находящийся в клетке в центре «химической промышленности» нуклеиновых кислот, о значении которых уже неоднократно упоминалось выше. Весьма вероятно, что она нужна и для обмена некоторых аминокислот. В медицине ее применяют главным образом для лечения некоторых видов малокровия.

В лечебном питании немалая роль отведена холину, также входящему в группу витаминов В. Холин — поставщик метильной группы, необходимой для широко распространенных в организме реакций метилирования. Он предохраняет печень от ожирения и цирроза (перерождения). Такое перерождение печени, встречающееся у алкоголиков («печень пьяницы»), химически можно объяснить тем, что алкоголь как бы вытесняет холин и ряд других пищевых веществ. Впрочем, цирроз печени встречается и при других болезнях (например, болезнь Боткина).

Что касается других членов семейства витаминов — инозита, биотина, пантотеновой кислоты, лечебное применение их пока крайне ограничено.

Несколько слов об антивитаминах. Это также вещества, которые обычно химически похожи на тот или иной витамин, но по своему действию — его антагонисты. Антивитамины известны не для всех витаминов. В медицине нашли применение антивитамины К (снижают свертываемость крови) и фолиевой кислоты (находят применение при лейкозах — раке крови).

Новым оружием врача стал младший член семьи витаминов В — витамин В₁₅, или пангамовая кислота, применяемая в виде ее соли — пангамата кальция. В опытах на животных было показано, что этот витамин вмешивается в энергетическое хозяйство организма, повышает энергетическую отдачу, помогая ему выдерживать невиданно большую физическую нагрузку.

Витамин В₁₅ благотворно действует, когда организм испытывает недостаток кислорода, в частности ткани (такое состояние называют гипоксией тканей), при преждевременном старении или при атеросклерозе (эти заболевания могут протекать и одновременно). Химизм стенок кровеносных сосудов (капилляров) в этом случае изменяется, стенки сосудов уплотняются и начинают плохо пропускать кислород и питательные вещества. А ведь ткани нашего тела пронизаны множеством капилляров — их общая длина составляет десятки километров.

Чтобы ткани не задыхались от недостатка кислорода, необходимо улучшить проницаемость капилляров, дать им возможность пропускать больше кислорода для нужд тканевых клеток. Так как витамин В₁₅ повышает активность окислительных процессов и улучшает жировой обмен в организме, его применяют для лечения и предупреждения атеросклероза, стенокардии и ряда других болезней.

У витамина В₁₅ есть союзники из группы жирорастворимых витаминов, в первую очередь витамины А и Е. Витамин А усиливает проницаемость капилляров, витамин Е расширяет капилляры и восстанавливает их проходимость. Витамин А участвует во многих биохимических процессах. Лучше всего изучено его действие на зрение. Роль витамина А в этом процессе настолько велика, что недостаток его ведет к заболеваниям (куриная слепота, ксерофтальмия). Витамин А необходим для нормального ро-

ста организма, для защиты нашей кожи и слизистых оболочек. Однако принимать его препараты необходимо только по указанию врача, так как в больших дозах витамин А ядовит. Известно, что участники экспедиции Баренца отравились, съев печень белого медведя. Теперь нам ясна причина этого — печень белого медведя особенно богата витамином А.

Витамин Е защищает от окисления. Он усиливает производство гормонов, особенно половых. Препараты этого витамина (он мало ядовит) с успехом применяют для предупреждения выкидышей у беременных, с гораздо меньшим успехом при половой слабости мужчин, а также при некоторых заболеваниях сердечно-сосудистой системы и кожи.

Витамин Е богаты растительные жиры, в которых содержится и витамин Ф. Собственно говоря, витамин Ф представляет смесь ненасыщенных жирных кислот: линолевой, арахидоновой, изолиноленовой, которые помогают выводить из организма избыток холестерина. На этом основано широкое применение их для лечения и предупреждения атеросклероза. Если даже небольшой ушиб вызывает кровоизлияние, часто идет кровь из носа, то это может быть следствием недостатка жирорастворимого витамина К, способствующего нормальной свертываемости крови. Этот витамин образуется у здоровых людей благодаря деятельности микроорганизмов кишечника. Количество его, как и витаминов группы В, также вырабатываемых микробами кишечника, уменьшается после длительных поносов или приема таких лекарств, как сульфаниламиды, пеллетан, сплукмар.

Витаминов К несколько. Синтетический витамин К₃ совершенно вытеснил из арсенала лечебных средств природный витамин К₁, так как он не только намного дешевле, но и может быть получен в водорастворимой форме (препарат викасол). А это большое преимущество: такой препарат можно вводить путем подкожных инъекций, да и в кишечнике он усваивается независимо от всасывания жиров.

Роль витаминов К в химических превращениях не ограничивается влиянием на свертывание крови. Биохимики предполагают, что они влияют на химизм клеточного дыхания и энергетические процессы, угнетая деятельность соответствующих ферментов.

Витамины Д (практически их два — Д₂ и Д₃) известны прежде всего как средства, предупреждающие и излечивающие рахит. Эти витамины действуют как регулировщики обмена фосфора и кальция, нарушенного при рахите. Именно поэтому они помогают и при туберкулезе кожи (волчанке), ускоряют заживление переломов. Но витамины Д одновременно и самые опасные из витаминов. Избыточные дозы их вызывают отложения кальция в самых различных органах, особенно в почках. Надо всегда опасаться гипервитаминоза Д и не давать его детям без совета врача.

Гормональные средства

Как известно, гормонами называются вещества, выделяемые в кровь железами внутренней секреции: гипофизом, эпифизом, надпочечниками, щитовидной, околотщитовидной, поджелудочной, вилочковой и половыми железами. Гормоны, поступая в кровь в малых количествах, оказывают каждый свое специфическое воздействие на внутритканевые процессы. Естественно, что гормональные препараты применяются, когда нормальная деятельность той или иной железы нарушена (понижена) и организму необходимо возместить недостаток соответствующего гормона. Но очень часто гормональные препараты применяются для лечения других нарушений обмена веществ, инфекционных заболеваний.

Вот уже второе десятилетие совершают свое триумфальное шествие в медицине кортизон и его производные (преднизон, преднизолон и другие). Как известно, в надпочечниках различают корковый и мозговой слои. Гормоны коры надпочечников — кортикостероиды — принято делить на две основные группы: глюкокортикоиды и минералокортикоиды. Кортизон относится к глюкокортикоидам, которые повышают распад белков, усиливают образование сахара в организме, «выгоняют» мочевую кислоту.

Популярность кортизона и его синтетических «родственников» основана прежде всего на их мощном противовоспалительном действии. Они помогают, в комбинации с другими средствами, и при раке крови — лейкозе — и при многих микробных заболеваниях. Но применение их требует большой осторожности, иначе может быть причинен непоправимый вред всему организму и в первую оче-

редь самым надпочечникам. Минералокортикостероиды — в первую очередь альдостерон и дезоксикортикостерон (ДОК) — способствуют главным образом задержке в организме воды и натрия, повышают выделение калия. Их препараты применяются реже. О гормоне мозгового слоя надпочечников — адреналине — мы уже упоминали.

Огромное значение в деятельности желез внутренней секреции имеет гипофиз. Эта железа вырабатывает гормоны, влияющие на рост организма, на обмен углеводов и жиров, на кровяное давление, гладкую мускулатуру и, наконец, на работу других желез: половых, щитовидной, поджелудочной, надпочечников. Так, например, в передней доле гипофиза вырабатывается адренокортикотропный гормон (АКТГ), основное назначение которого — «подстегивать» кору надпочечников, побуждать их вырабатывать кортикостероиды (в первую очередь гидрокортизон). Эта доля гипофиза вырабатывает и другие гормоны: тиреотропный (влияющий на работу щитовидной железы), гонадотропный (стимулирующий деятельность половых желез), гормоны роста. А задняя доля гипофиза специализировалась на выработке других гормонов — вазопрессина (регулирующего обмен воды в организме), окситоцина (участвующего в осуществлении родового акта). Оба эти гормона являются белковоподобными веществами — полипептидами. Биохимики сумели синтезировать эти гормоны еще 10 лет тому назад.

Широкое применение при расстройствах половой сферы (и некоторых других заболеваниях) находят препараты половых гормонов: эстрогенов, прогестерона, андрогенов (тестостерон и др.). Все они активно вмешиваются в химизм организма. Так, например, андрогены уменьшают распад и повышают синтез белков, понижают выделение мочой азотистых веществ (креатинина и др.), калия, фосфора.

Активными регуляторами обмена углеводов являются гормоны поджелудочной железы — инсулин и глюкагон. Гормоны щитовидной железы (тироксин и др.) повышают обмен веществ, увеличивая потребление кислорода и распад белков, жиров и углеводов путем активирования соответствующих ферментов. Гормон околотитовидных желез влияет на обмен кальция и фосфора организма. В заключение следует сказать, что гормональные препараты оказывают очень сильное воздействие на организм человека. Их можно применять только под наблюдением врача.

Противоядия

Лет тридцать назад, докладывая на съезде о найденном противоядии против сильного яда¹ — сулемы (хлорной ртути), ученый привел необычное, но весьма убедительное доказательство своей правоты: принял большую дозу сулемы и запил ее этим противоядием! Для химиков это противоядие — сероводородная вода — не было новостью; вступив в реакцию с хлорной ртутью, она образует сернистую ртуть — соединение нерастворимое и почти безвредное для организма. (Такие реакции были известны химикам еще в XVIII столетии.)

Из сказанного следует, что противоядием (антидот — от греческого слова «антидотос» — даваемое против) называют лекарство, применяемое при лечении отравлений и способствующее обезвреживанию яда (или устранению вызываемых им вредных последствий).

В приведенном примере противоядие обезвреживает яд до его всасывания и поступления в кровь. С этой целью можно давать, например, и активированный уголь, который обладает способностью «схватывать» (адсорбировать) ядовитые вещества. А вот как обезвредить яд, уже поступивший в кровь?

Установлено, что ядовитое действие боевого отравляющего вещества — люизита — заключается в том, что оно парализует фермент пирувоксидазу; фермент этот является сложным белком, богатым тиоловыми (содержащими серу) группами. Вот на эти-то группы и «накидывается» люизит и, прочно связывая, выводит их из строя. Поэтому люизит и многие ядовитые соединения мышьяка, а также ртути, меди и других тяжелых металлов принято называть «тиоловыми» ядами. К таким веществам можно отнести и яды некоторых змей (например, кобры) и бактерий.

После многих усилий удалось синтезировать замечательное противоядие — британский антилюизит, сокращенно БАЛ, обладающее способностью обезвреживать тиоловые яды. Химики называют это соединение димеркаптопропанолом. Термин «меркапто» означает «схватывающий ртуть» (от латинского «корпус меркурио аптум», где «corpus mercurio» — название ртути). Но БАЛ можно было

¹ О ядах см. кн.: И. Кнуляц, Р. Костляновский. *Тайна ядов*. М., «Наука», 1966.

бы называть не только меркаптаном, но и арсаптаном — схватывающий мышьяк, купраптаном — схватывающий медь. Это лекарство, содержащее серу, схватывает ядовитые тяжелые металлы и переводит их в почти безвредные сернистые соединения.

Мы намеренно назвали противоядие лекарством. Оно и действует как лекарство: так, например, при заболевании, сопровождающемся накоплением меди в организме, можно прибегать к помощи меркаптосоединений, они помогают выводить излишек меди с мочой и, следовательно, «ведут себя» как настоящие лекарства.

Что же происходит при этом? Своеобразная борьба, конкуренция между противоядием и, как ни странно, биохимическими (ферментными) системами нашего тела, которые как бы стремятся связаться с ядом, а противоядие «обгоняет» их и перехватывает яд, с которым образует более прочные и неядовитые соединения. Особое преимущество димеркаптопропанола и сходных с ним веществ в том, что он обладает способностью «отрывать» и связывать молекулы яда даже после отравления, т. е. после того, как яд образовал соединения с тиоловыми группами ферментного белка. При отравлениях солями свинца, кобальта и других элементов подобным образом действует этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА), которая с успехом применяется в клинике.

Биохимики удачно используют конкуренцию между сходными по химическому строению веществами в организме для создания противоядий (и лекарств). Возьмем, например, такой сильнейший яд, как цианистый калий. Наряду с другими солями синильной кислоты (цианидами), некоторыми соединениями серы (сульфидами) и мышьяка (азидами) такие яды парализуют клеточное дыхание, блокируя окисное железо фермента цитохромоксидазы. Переносчик кислорода в нашем теле — гемоглобин — содержит не окисное, а закисное железо, на которое эти яды не действуют и, следовательно, не могут мешать гемоглобину переносить кислород.

Этим-то обстоятельством и воспользовались биохимики. Они предложили окислять гемоглобин. В результате окисления образуется метгемоглобин, который содержит не закисное, а окисное железо и тотчас вступает в конкуренцию с ферментом цитохромоксидазой, чтобы захватить яд (синильную или какую-либо другую кислоту). Так как

железа гемоглобина в нашем теле во много раз больше, чем железа цитохромоксидазы, то временно можно снизить содержание гемоглобина, переводя его в метгемоглобин — организм от этого не пострадает.

По существу именно метгемоглобин обезвреживает яд, связывая его, и, следовательно, является противоядием. Но ученые допустили несправедливость и назвали противоядием не метгемоглобин, а такие вещества, которые вызывают его образование в организме; к ним относятся, например, метиленовая синь. Интересно, что лекарство «производит» метгемоглобин до тех пор, пока в крови еще имеются хотя бы следы сильной кислоты. Другими словами, яд как бы регулирует процесс своего полного обезвреживания. Отсюда можно сделать вывод, что достижения науки о ядах лишают смысла эпитет «сильнейший», применяемый обычно к цианистому калию. В настоящее время известны яды несравненно более сильного действия, чем цианистый калий или змеиные яды. Сюда относится так называемый токсин ботулизма — яд, выделяемый бактериями, хорошо размножающимися в таких продуктах, как колбаса, мясо, рыба, овощные консервы («ботулюс» — колбаса). А несколькими крупинками яда из бактерии «Д» можно было бы отравить все население нашей планеты!

Кроме применения лекарств есть и другой путь борьбы с отравлениями — обезвреживающий синтез в организме. Так, например, широко известный яд — карболовая кислота (фенол) — образует с сульфатом (солью серной кислоты) фенолосерную кислоту, которая относительно безвредна и выделяется с мочой. А соли синильной кислоты, о которых говорилось выше, с помощью гипосульфита натрия и при участии специального фермента — роданезы, превращаются в печени в безвредную роданистоводородную кислоту. Поэтому гипосульфит — хорошее противоядие.

Есть и такие противоядия, которые не вступают в реакцию с самим ядом, но предупреждают или устраняют разрушительные последствия отравления. Чаще всего их действие основано на физиологическом антагонизме между ядом и таким противоядием. Химический механизм действия в этих случаях еще недостаточно изучен.

Союз химии с медициной

Заглянем в ближайшее будущее. Уже сегодня биохимики пристально изучают природные полимеры углеводного характера, такие, например, как гиалуроновая кислота, а также высокомолекулярные соединения, в состав которых входят спаловые кислоты. Изучается гепарин, играющий большую роль в механизме свертывания крови. Разработаны синтетические заменители гепарина, а вслед за этим созданы искусственные заменители крови, изготавливаемые из декстрана.

Какие же задачи стоят в этом случае перед химией? Прежде всего для замещения крови, а также для других медицинских целей могут быть использованы синтетические полимеры, состоящие из природных аминокислот. Их достоинство в том, что они включаются в обмен веществ, затем удаляются из организма.

Уже сейчас полимеры начинают применять с целью продления срока действия лекарств в организме. В этом отношении открываются интереснейшие перспективы. Обычно лекарства — чуждые вещества, которые организм стремится поскорее вывести наружу, чтобы избавиться от них. Но можно ли положить предел этому расточительству и задержать лекарства в организме, чтобы полностью использовать их целебную силу и одновременно не нанести вред нашему телу? Это достигается путем соединения или смешивания лекарств с полимерами, которые затем отдают лекарство в кровь постепенно, «по мере надобности». Если, например, человек хочет немедленно заснуть, спать спокойно и по истечении 8 часов проснуться, то лекарства, вызывающие сон, поддерживающие его и будящие человека, заключают в одну и ту же пилюлю, разделенную полимерными перегородками. Эти перегородки растворяются в точно определенное время, и каждая часть пилюли действует на человека по-своему. Пока в этом направлении сделаны первые удачные опыты.

Во много раз возрастет применение синтетических материалов. Химия обеспечивает хирургическую клинику искусственными материалами для замещения сосудов или стенок органов. Разработав соответствующие условия, можно в принципе получить такие синтетические полимеры, продолжительность жизни которых в организме будет определяться заранее. Из них, по-видимому, будут готовить

искусственные нити и различные склеивающие материалы. Благодаря этому хирургам не придется накладывать швы при операциях. Если такие полимеры ввести в состав лекарств, то они продлят их лечебное действие. Но современные синтетические вещества, не оказывая вредного влияния на организм, остаются все же для него чужеродным телом.

Задача химии — создание синтетических материалов, которые найдут широкое применение в хирургии сосудов, пищевода и, конечно, при переломах костей. Вполне реально создание таких синтетических веществ, которые бы скрепляли кости при переломах, а после операции рассасывались.

Биология и химия недалекого будущего должны разрешить задачу создания синтетических масс, близких по структуре и свойствам тканевым элементам человеческого организма. Очень перспективны исследования биологов и химиков, идущих по пути выращивания тканевых культур и создания искусственных условий для возникновения и развития зародыша животного и человека. Активное вмешательство в процессы синтеза белка, в процессы роста и развития тканей и органов даст хирургам ценный пластический материал.

Химия создает определенные перспективы развития урологии. Не вызывает сомнения, что с помощью новых химических средств будут найдены способы лекарственного предупреждения вредного влияния мочи на ткани.

Очень перспективна химическая хирургия. Как пример можно привести опыты с химической мумификацией опухолей, отторгающихся после введения в них спиртового раствора канифоли. Перед биохимиками и онкологами здесь широкое поле для дальнейших поисков.

Есть все основания предполагать, что дальнейшее изучение тончайших биохимических процессов в организме человека поднимет завесу над патогенезом многих заболеваний и, значит, будут найдены средства терапевтического лечения недугов, которые сейчас именуются хирургическими, — язвенной болезни желудка, энтероколита, желчно-каменной болезни и многих других. А дальнейшие успехи в поисках противовоспалительных средств расширят возможности терапевтического лечения и таких болезней, как холецистит, аппендицит, нагноительные заболевания печени, легких и других органов и тканей.

Одно из важных условий развития хирургии — дальнейшее совершенствование анестезиологии. В недалеком будущем химики смогут синтезировать безвредные для организма вещества, вызывающие глубокий сон и необходимую релаксацию (расслабление) мышц. Можно не сомневаться, что будут найдены способы совершенно безопасного наркоза и созданы такие условия, когда больной во время (и после) любой операции совсем не будет ощущать боль.

С помощью химии должна сбыться и давнишняя мечта хирургов о более быстром заживлении операционных ран. Перед химиками стоит задача синтезировать такие лекарственные вещества, под влиянием которых раны будут заживать через три-четыре дня.

Современная медицина уделяет большое внимание трансплантации (от латинского «трансплантире» — пересаживать) органов и тканей. Главное препятствие, которое здесь необходимо преодолеть, — это тканевый барьер, точнее тканевая несовместимость. Что это такое? Тканевая несовместимость — это тот самый иммунитет, о котором мы уже говорили выше. Различие только в том, что эта несовместимость проявляется не в ответ на внедрение в организм болезнетворных микробов, а как реакция на пересаженный орган или пересаженную ткань. Между их белками начинается ожесточенная борьба. Как преодолеть яростное сопротивление организма против чужеродного белка и тем самым создать благоприятные условия для приживания пересаженных органов и тканей?

Важнейшей задачей является расшифровка химической природы трансплантационных антигенов. Имеются данные о том, что это сложные вещества — липогликопротеиды. Есть основания предполагать, что они связаны и с еще более сложными веществами — дезоксирибонуклеопротеидами. Не установлена окончательно роль различных клеточных групп в иммунитете, не раскрыт механизм синтеза антител. Недостаточно разработаны методы управления иммунологической реактивностью. Именно поэтому в последнее время ведутся интенсивные поиски способов воспроизведения иммунологической толерантности (переносимости) у взрослых непосредственно перед пересадкой ткани или органа. Одна из перспектив — поиски химических соединений, резко подавляющих иммунитет при длительном применении. Такие препараты, как 6-меркаптопурин, А-мета-

итерин, сарколизин, тиогуанин, кортизон, актиномицины С и другие, действующие изолированно или в сочетании с облучением, обеспечивают успех трансплантации не только в эксперименте, но и в клинике. Правда, большинство этих операций пока лишь позволяет приживлять органы: например, пересаженную почку на срок от 37 до 180 дней (более длительное приживание происходит лишь в единичных случаях). Тем не менее в настоящее время на земном шаре уже живут десятки человек с функционирующими больше года пересаженными почками и даже сердцами. Правда, им приходится продолжать прием лекарств, подавляющих иммунитет, и делать переливание крови.

Конечно, и лучевые и химические воздействия пока настолько несовершенны, что жизнь человека долгое время «висит на волоске». Поэтому совершенствование подобных способов и поиски новых — злободневная задача для биохимиков.

Наконец, существует еще один путь, который содействует более длительному существованию или истинному приживлению тканей: введение перед пересадкой больших доз препаратов, содержащих трансплантационные антигены. Не менее интересны попытки подавления трансплантационной реакции с помощью иммунных сывороток или некоторых белковых фракций сыворотки крови (гамма-, бета-глобулины и др.).

Усилиями химии, биологии и медицины проблема пересадки органов и тканей от человека человеку будет решена сравнительно скоро не только путем подбора совместимых тканей, но и подавлением антигенных свойств пересаживаемых органов, непосредственным химическим воздействием на белки трансплантируемых и материнских тканей. Все сказанное выше — только единичные примеры, одна тысячная того, что уже в ближайшем будущем принесет союз химии с медициной.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
БЕЛКИ И НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ	5
КЛЮЧИ ЖИЗНИ — ФЕРМЕНТЫ	36
ЛИПИДЫ	75
УГЛЕВОДЫ	80
ВОДА И МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА	88
ВЕЛИКОЛЕПНАЯ ВОСЬМЕРКА	94
БОЛЬШАЯ ХИМИЯ НАШЕГО ТЕЛА	104
КРОВЕНОСНАЯ СИСТЕМА	151
КОГДА МЫ НАХОДИМСЯ В ГОРАХ	203
ДЕЙСТВИЕ ЛЕКАРСТВ	230

Владимир Самсонович Асатиани

Химия нашего организма

*Утверждено к печати редколлегией
серии научно-популярных изданий
Академии наук СССР*

Редактор *В. Н. Вяземцева*

Художник *И. К. Михайлин*

Технический редактор *Т. А. Прусанова*

Сдано в набор 3/VI 1968 г.

Подписано к печати 9/VI 1969 г.

Формат 84×108¹/₃₂

Бумага № 2

Усл. печ. л. 15,96

Уч.-изд. л. 15,5

Тираж 20 000 экз.

T-01016

Тпп. зак. № 733

Цена 98 коп.

Издательство «Наука».

Москва К-62, Подсосепский пер., д. 21

2-я типография издательства «Наука».

Москва Г-99, Шубинский пер., 10

98 коп.



ИЗДАТЕЛЬСТВО • НАУКА •