

Экология человека

Для каталога Григорьев А.И., Экология человека [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Под ред. Григорьева А.И. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2013. - 240 с. - ISBN 978-5-9704-2745-3 - Режим доступа:

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970427453.html>

Авторы Под ред. Григорьева А.И.

Издательство ГЭОТАР-Медиа

Тип издания учебник

Год издания 2013

Прототип Электронное издание на основе: Экология человека: учебник для вузов / Под ред. Григорьева А.И., - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2013. - 240 с. - ISBN 978-5-9704-2745-3.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В поисках сырьевых и энергетических ресурсов человек постоянно расширяет границы своего обитания на Земле, начинает осваивать околоземное космическое пространство. Расширение ареала обитания предъявляет всё более высокие требования к организму, его возможностям адаптироваться в новых условиях. Возникает необходимость приспосабливаться к изменению атмосферного давления, температуры, содержания кислорода в окружающей среде, действию ионизирующей радиации, невесомости и т.д. Эволюционные процессы при этом далеко не всегда успевают за скоростью изменения факторов окружающей среды, ставя под угрозу здоровье человека.

Технический прогресс, неся несомненную пользу человечеству, имеет и обратную сторону. Возрастающее антропогенное влияние на окружающую среду, с одной стороны, делает её более комфортной для обитания, с другой - нарушает естественные соотношения в системе «человек-окружающая среда». Человек вынужден приспосабливаться к возрастающим потокам информации, действию электромагнитных полей искусственного происхождения, изменённому спектру достигающего поверхности Земли космического излучения, отвечать на широкий диапазон экзотоксикантов техногенного происхождения и пр. Качество жизни (как непереносимое условие существования современного человека!) зависит от того, сумеет ли наш организм адекватно ответить на брошенный ему вызов. Достаточны ли имеющиеся в арсенале генетической программы вида *Homo sapiens* физиологические механизмы адаптации? Как помочь преодолеть всё более увеличивающийся разрыв между нашими возможностями и требованиями среды обитания? Эти и другие вопросы стоят сегодня перед биологами, экологами, медиками.

Современная цивилизация может создать человеку условия для сохранения здоровья и долгой трудоспособной жизни. Искусство продлевать жизнь - это и искусство не сокращать её. Каждому из нас необходимо научиться гармонизировать внутреннюю среду с окружающей средой обитания. Как утверждал Сенека, *«жить счастливо и жить согласно с природой - одно и то же»*. Это возможно только при знании закономерностей реагирования организма на воздействие тех или иных факторов внешней среды.

В настоящем издании обобщены результаты многолетних исследований по экологии человека учёных разного профиля. Учебник выходит в виде книги с приложенным компакт-диск. Книга содержит основные позиции дисциплины (15 глав и предметный указатель), достаточные для обучения студента и полностью отражающие официальные программы. На диске находится полный текст учебника, а также интерактивный тестовый экзамен и различные приложения (например, предельно допустимые концентрации

различных веществ, официальные документы, список литературы). Все материалы учебника разбиты на части: методологические основы экологии человека (главы 1-5), функциональное состояние основных гомеостатических систем организма при действии различных экологических факторов (главы 6-10), прикладная экология человека (главы 11-15), приложения и интерактивный тестовый экзамен. Мы надеемся, что эта книга привлечёт внимание широкого круга читателей, интересующихся проблемами экологии и здоровья людей.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

IL - интерлейкин

$p_a\text{CO}_2$ - парциальное давление кислорода в артериальной крови

$p_a\text{CC}_2$ - парциальное давление углекислого газа

в артериальной крови

$p\text{C}_2$ - парциальное давление кислорода

TNF α - фактор некроза опухоли α

АД - артериальное давление

АДФ - аденозиндифосфорная кислота

АКТГ - адренокортикотропный гормон

АМФ - аденозинмонофосфорная кислота

АТФ - аденозинтрифосфорная кислота

БАВ - биологически активные вещества

ВНД - высшая нервная деятельность

ВОЗ - Всемирная Организация Здравоохранения

ДНК - дезоксирибонуклеиновая кислота

ЖЕЛ - жизненная ёмкость лёгких

ЖКТ - желудочно-кишечный тракт

МВЛ - максимальная вентиляция лёгких

МОД - минутный объём дыхания

МОК - минутный объём кровообращения

МПК - максимальное потребление кислорода

ОЦК - объём циркулирующей крови

ПДК - предельно допустимая концентрация

ПОЛ - перекисное окисление липидов

РНК - рибонуклеиновая кислота

УЭВД - уровень экономичности внешнего дыхания

ЦНС - центральная нервная система

ЧСС - частота сердечных сокращений

ЭВД - экономичность внешнего дыхания

ГЛАВА 1. ЭКОЛОГИЯ: ОТ ГЛОБАЛЬНОГО НАУЧНОГО ЗНАНИЯ К ОТРАСЛЕВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ

Слово «экология» происходит от греческих *ойкос* (дом) и *логос* (наука). В дословном переводе экология - изучение «природного дома», живущих в нём организмов (в том числе и человека) и всех процессов, делающих этот «дом» пригодным для жизни.

«Крещение» экологии как науки произошло 14 сентября 1866 г., когда немецкий биолог Эрнст Геккель (1834-1919) поставил подпись под предисловием к своей книге «Всеобщая морфология организмов». В ней он дал следующее определение: *«Дод экологией мы подразумеваем общую науку об отношении организмов к окружающей среде, куда мы относим все условия существования» в широком смысле этого слова».*

Этапы развития экологии

В развитии экологии как науки можно выделить несколько этапов (рис. 1-1).

Экология животных. Распространение экологических представлений во второй половине XIX века способствовало усилению интереса научной общественности к проблеме взаимодействия между организмами и средой обитания. Экология животных в

string language="ru">string language="ru">

Рис. 1-1. Этапы развития экологии

этот период развивалась в разных направлениях. Продолжалось накопление данных об образе жизни отдельных видов, прежде всего, имеющих практическое значение. Одновременно на основе анализа частных наблюдений возникали теоретические обобщения (Миддендорф, Форбс, Силантьев, Мечников, Рейли, Гензен, Мюллер, Северцовы).

Экология растений. Экология растений (Цезальпин, Рей, Турнефор, Сакс, Либих, Гризенбах, Докучаев) одновременно зародилась в двух ботанических дисциплинах - фитогеографии и физиологии.

- Основы фитоценологических представлений заложил А.А. Гризенбах (1814-1879), сделавший первую попытку описания растительного покрова Земли в связи с климатическими особенностями.

- В.В. Докучаев (1846-1903) создал учение о географических зонах, охватывающих все элементы земной поверхности, разработал представление о взаимосвязях между животными, растениями и минералами.

Теоретические основы экологии

В результате взаимодействия с другими отраслями биологии выделялись и уточнялись проблематика и методы экологии (Мёбиус, Шрётер, Земпер, Девенпорт, Вольтерра, Гриннел, Сукачев, Тенсли).

- Фундаментальное значение имело формулирование понятия «биоценоз», это понятие ввёл в науку К. Мёбиус (1825-1908).
- Поскольку объектами экологического изучения стали не только отдельные виды, но и их комплексы, К. Шрётер (1855-1939) предложил различать соответственно понятия ауто- и синэкология, что позднее восприняли и зоологи.
- К. Земпер (1832-1893), исследуя влияние питания на животных, выявил основную закономерность, которая позднее получила название «пирамида чисел».
- Ч. Девенпорт в 1897 г. указал на значение жизненного пространства для существования организмов.
- В. Вольтерра (1860-1940) дал математическое описание системы «хищник-жертва».
- В 1928 г. Д. Гриннел ввёл понятие «экологическая ниша», которое означает место вида в природе.
- В.Н. Сукачев (1880-1967) ввёл термин «биогеоценоз» - элементарную структурную единицу биосферы.
- А. Тенсли (1871-1955) в 1935 г. сформулировал понятие «экологическая система» (экосистема), которое близко по смыслу к понятию биогеоценоза. В отличие от биогеоценозов, границы которых задаются рамками растительных сообществ, экосистемы могут охватывать пространства разной протяжённости - от капли воды до биосферы в целом.

Биосфера и ноосфера

Определение понятия биосферы как особой оболочки Земли дал австрийский геолог Э. Зюсс (1831-1914). Понятие о ноосфере было введено в науку французским философом Э. Леруа в 1927 г. Ноосферой он назвал оболочку Земли, включающую человеческое общество с его индустрией, языком и прочими атрибутами разумной деятельности. Учение о биосфере наиболее глубоко отразил В.И. Вернадский. (1864-1945) в книге «Биосфера», вышедшей в 1926 г. Согласно В.И. Вернадскому, *биосфера - качественно своеобразная живая оболочка планеты, включающая не только организмы, но и всю среду их жизни, охваченную и преобразованную деятельностью этих организмов.*

Научным завещанием Вернадского стала его последняя прижизненная статья «Несколько слов о ноосфере», появившаяся в 1944 г. В ней были сформулированы представления, к которым Вернадский пришёл в результате всей своей научной деятельности: *«Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой. И перед ним, перед его мыслью и трудом, становится вопрос о перестройке биосферы в интересах свободно мыслящего человечества как единого целого. Это новое состояние биосферы, к которому мы, не замечая этого, приближаемся, и есть ноосфера».*

Методологические и концептуальные основы экологии

Экология обрела самостоятельность в начале XX в., когда были предложены первые экологические концепции, в 20-40-х гг. сложился понятийный аппарат экологии, были выработаны основные методологические подходы. Всё это время экология рассматривалась как сугубо биологическая наука, но, начиная с середины XX в. из-за резкого ухудшения состояния окружающей среды обострился интерес к экологическим проблемам, и экология включила в себя элементы многих других дисциплин. «Большая» экология, или «мегаэкология» пока не имеет чёткой структуры из-за отсутствия фундаментальных теоретических основ, но повышенный интерес к экологическим наукам способствует развитию теоретических основ экологии (Реймерс, Моисеев).

- Существенный вклад в этом направлении сделал Н.Ф. Реймерс (1931-1993). В монографии «Надежды на выживание человечества: концептуальная экология» (1992) он даёт глубокий анализ накопленных знаний, создаёт и развивает ряд научных концепций, позволяющих отнести этот труд к фундаментальным теоретическим основам современной экологии. Экология в его трудах представлена как вершина естествознания - мегаэкология, вокруг которой концентрируются другие научные дисциплины, откликающиеся на актуальные проблемы человечества и угрозу экологического кризиса.
- Н.Н. Моисеев (1917-2000) - специалист в области системного анализа и прогнозирования, по-новому осветил антиэкологические издержки прогресса и перспективу взаимоотношений человека и природы. По его мнению, устремление к новой цивилизации должно реализовываться через коэволюцию человеческого общества и биосферы.

Актуализация экологии как науки

Демографический взрыв. Быстрый рост населения Земли получил название демографического взрыва.

- Это явление хорошо иллюстрируют данные демографической статистики Китая, стран Африки, Латинской Америки, юга Азии, где население растёт гигантскими темпами. В начале века на Земле жили 1,5 млрд человек. В 1950

г. численность населения возросла до 2,5 млрд, а затем стала ежегодно увеличиваться на 70-100 млн человек. В 1993 г. численность населения Земли достигла 5,5 млрд человек, т.е. удвоилась по сравнению с 1950 г.

- Возросшая численность населения потребовала увеличения производства продуктов питания, что привело к расширению посевных площадей и применению минеральных удобрений, пестицидов и гербицидов. За короткий срок в два с лишним раза возросли площади, занятые городами и посёлками, дорогами, свалками и т.д., вследствие чего сократились ареалы распространения многих животных и растений.

Антропогенные факторы. Развитие цивилизации привело к появлению ряда антропогенных факторов, оказывающих влияние на биосферу (рис. 1-2).

string language="ru">string language="ru">

Рис. 1-2. Основные техногенные экологические факторы

Урбанизация. Для урбанизированных территорий наиболее характерно повышенное воздействие техногенных факторов. Наряду с позитивной ролью (насыщенность элементами инфраструктуры, развитость сетей медицинской помощи и т.д.) городская среда оказывает на здоровье многообразные и неблагоприятные воздействия (гипокинезия, нервно-психическое напряжение, влияние загрязнений и т.д.).

Производство энергии. Поставить человечество на грань катастрофы способна не только опасность ядерных катастроф, но и производство энергии, удваивающееся каждые 10-15 лет. И в скором времени эта энергия начнёт влиять на структуру теплового баланса планеты, а увеличение или снижение средней температуры планеты всего на несколько градусов грозит человечеству необратимой экологической катастрофой.

Большинство экспертов полагает, что нынешние темпы потребления топлива и минеральных ресурсов могут сохраниться ещё на одно или два поколения. Это зависит как от запасов рассматриваемого вида сырья, так и от состояния мировой экономики, новых сырьевых источников, экономного использования энергии, возврата вторичного сырья и т.д.

Разрушение озонового слоя. Речь идёт о вредных для биосферы аэрозолях и химических веществах, выбрасываемых промышленными предприятиями и разрушающих жизненно важный естественный барьер - озоновый слой, предохраняющий организмы от действия ультрафиолетовых лучей.

- Основные озоноразрушающие вещества: хлорфторуглероды (международное обозначение - CFC), такие как фтортрихлор-

- метан (CFC-11), дифтордихлорметан (CFC-12) и др.; фторхлорбромуглероды, а также гидрохлорфторуглероды (международное обозначение - HCFC); метилбромид, метилхлороформ и четырёххлористый углерод. В мире производится около 1300 тыс. тонн озоноразрушающих

веществ, из них менее 10% - нашей страной. На долю США приходится 35%, стран-членов ЕЭС - 40%, Японии - 10%. В отношении главного виновника разрушения озонового слоя - хлорфторуглеродов, используемых в качестве хладагентов, а также для наполнения аэрозольных упаковок - приняты суровые меры. В соответствии с Монреальским протоколом, страны, производящие такие вещества, обязались к 2005 г. - наполовину и к 2007 г. - на 85% уменьшить потребление и производство хлорфторуглеродов.

Транспорт. С увеличением количества автомобильного транспорта возрастает и загрязнение окружающей среды. Двигатели автомобилей выбрасывают огромное количество вредных примесей и одновременно являются мощными потребителями кислорода. Только за 800-900 км пробега каждый автомобиль сжигает такое количество кислорода, которого бы хватило водителю для дыхания на всю его жизнь.

Химическая промышленность. Особый вред природным экосистемам наносит загрязнение химическими веществами, ранее не существовавшими в окружающей среде.

Техногенное загрязнение водоёмов. Основными источниками загрязнения морских вод служат речные стоки, содержащие кадмий, свинец, ртуть, нефтепродукты, в том числе и наиболее опасные из них - полициклические ароматические углеводороды.

Ракетно-космический комплекс. Происходит загрязнение почвы и водоёмов токсикантами вследствие деятельности объектов военно-промышленного комплекса. Так, одним из негативных последствий деятельности испытательного космодрома «Плесецк» является загрязнение природной среды продуктами неполного сгорания ракетного топлива в районах падения отделяющихся частей ракетносителей.

Места падения ракет описаны специалистами как «участки локального механического разрушения почвенного покрова с явлениями кислотных и щелочных ожогов растительности». По их мнению, возможен как ингаляционный, так и энтеральный (при употребле-

нии растений и воды из загрязнённых водоёмов) путь заражения диких животных.

Радиоактивное загрязнение. Серьёзное значение для загрязнения среды имело вступление человечества в атомную эпоху. Взрывы ядерных бомб над Японией, испытания ядерного и водородного оружия, аварии на атомных электростанциях привели к повышению общего радиоактивного фона Земли. Возникла проблема захоронения радиоактивных отходов. Основной параметр, определяющий опасность загрязнения, - уровень гамма-излучения. Средний уровень гамма-фона в пределах Москвы - от 10 до 20 мкр/ч (аномальными считаются значения более 30 мкр/ч).

- Спустя почти 20 лет после чернобыльской аварии в зону радиоактивного загрязнения входят более 4000 населённых пунктов 14 субъектов Российской Федерации, в которых проживают более 1,5 млн человек.
- На азиатской территории России имеется несколько зон, загрязнённых в результате ранее имевших место радиационных аварий на предприятиях ядерного топливного цикла: районы, примыкающие к производственному объединению «Маяк»; ВосточноУральский «стронциевый» радиоактивный след, образовавшийся в 1957 г. в результате аварии на этом предприятии.
- Санкт-Петербург и Ленинградская область характеризуются повышенным уровнем всех факторов радиационного риска, как природных, так и техногенных.
- В Москве сосредоточено более 700 предприятий, проводящих работы с радиоактивными веществами. Свыше 300 организаций используют более 20 000 закрытых источников ионизирующего излучения.

Суммируя, можно заключить, что антропогенные изменения окружающей среды приобрели такие размеры, что человек сам становится их жертвой.

Структура экологического знания

Структура современной экологии - всё здание экологических наук, фундаментальных и прикладных, - в развёрнутом виде представлена в работах Н.Ф. Реймерса.

Биоэкология. В биоэкологии выделены направления, определяемые масштабом и степенью интеграции исследуемых объектов.

- Аутоэкология изучает взаимоотношения отдельной особи (вида) с окружающей её средой.
- Популяционная экология - функционирование популяций (например, птичьей стаи или стада антилоп).
- Синэкология - функционирование сообществ, объединяющих популяции организмов разных видов (например, сообщество различных луговых трав).
- Биоценология изучает организацию сложных сообществ животных, растений, грибов, микроорганизмов и т.д., совместно населяющих отдельный участок суши или водоём.
- Биогеоценология исследует функционирование взаимосвязанных комплексов живых организмов и окружающей их неживой среды;
- Биосферология - учение о биосфере.
- Экосферология - глобальная экология.

Эндозкология и экзозкология. Биоэкологию по иерархическим уровням биотических систем подразделяют на эндозкологию и экзозкологию.

- Эндозэкология - молекулярная, морфологическая, физиологическая (экология питания, дыхания и т.д.).
- Экзоэкология - аутоэкология, демэкология (экология малых групп), популяционная экология, специозэкология (экология вида), синэкология, биоценология, биогеоценология, биосферология, экосферология.

Охрана природы. К циклу экологических наук относят также охрану природы и окружающей среды.

- Охрана природы - прикладная экологическая область знания о сохранении систем жизнеобеспечения Земли, обозначается как созология («созо» означает «спасаю»).
- Охрана окружающей человека среды - энвайронментология, или средология, концентрирует своё внимание на потребностях самого человека, т.е. охране природной, социальной и техногенной среды.

По определению Ю. Одума, «экология - междисциплинарная область знания, наука об устройстве многоуровневых систем в природе, обществе, их взаимосвязи».

Специфика современной экологии состоит в том, что она из строго биологической науки превратилась в комплексную междисциплинарную науку - расширенный цикл знаний, вобрав в себя разделы географии, геологии, химии, физики, социологии, теории культуры, экономики, даже теологии - по сути дела, всех известных научных дисциплин.

- По подходам к предмету различают аналитическую и динамическую экологию, по факту времени - историческую и эволюционную экологию.
- Большая часть экологических дисциплин относится к прикладной экологии, в которой выделяют ряд разделов (промышленная, сельскохозяйственная, медицинская и др.). В настоящее время число экологических дисциплин продолжает увеличиваться за счёт возникновения новых её ветвей.

Методы исследования в экологии могут быть самыми разнообразными как по форме и уровню интеграции (химические, физические, биологические, молекулярные, морфологические, физиологические, демографические и т.д.), так и по содержанию (от описательных до аналитических, синтетических и др.).

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Экология человека рассматривается как аналог аутоэкологии в пределах экологии животных (воздействие на организм и его реакции) и с позиций взаимодействия антропосистемы со средой обитания. На протяжении многих лет экология человека формировалась в двух направлениях: собственно экология человека и социальная экология.

По определению А.Л. Яншина и В.П. Казначеева, *экология человека - комплексное научное и научно-практическое направление исследований взаимодействия народонаселения (популяций) с окружающей социальной и природной средой*. Экология человека изучает социальные и природные закономерности взаимодействия человека и человечества в целом с окружающей космопланетарной средой, проблемы развития народонаселения, сохранения его здоровья и работоспособности, совершенствования физических и психических возможностей человека.

Структура экологии человека

Экология человека является методологической основой, которая объединяет различных специалистов при решении проблемы взаимодействия населения с внешней средой.

- Медико-биологический уровень: медицинские аспекты среды, медицинские аспекты здоровья, медицинская география, экологическая физиология.
- Социальный уровень: проблемы народонаселения, проблемы ресурсов, воздействие человека на среду, защита среды, управление средой, культурная экология, социальная экология.

Предмет изучения экологии человека - взаимоотношения людей между собой и с окружающей их средой.

Объекты изучения экологии человека - индивидуум и личность, репродуктивная группа (семья), малые группы, популяции, сообщества, расы, а также природные, антропогенные и социальные факторы внешней среды.

Таким образом, в структуру экологии человека входят:

- биологическая компонента (биологическая экология человека);
- социальная компонента (социальная экология человека);
- прикладная, антропогенная компонента (прикладная экология человека).

Сложность прямых и обратных связей человека с быстро изменяющейся средой предопределяет особенности экологии человека:

Природная среда по отношению к человеку выполняет три основные функции:

- экономическая (обеспечивает экономику ресурсами);
- биологическая (обеспечивает физическое здоровье человека);
- социальная (обеспечивает духовное развитие человека и общества в целом).

Социальная экология. Этот термин в 1921 г. предложили социологи Р. Парк и Е. Берджес. Понятие «социальная экология» подчёркивает, что речь идёт не о биологическом, а о социальном явлении. Социальная экология человека также включает несколько частей, отражающих экологию социальных

доминант человека: политическую и экономическую экологию; экологию культуры, науки, религий; экологию личности, семьи, социальных групп; прикладную экологию.

Главные задачи экологии человека:

- осмысление неясных вопросов теории экологии человека;
- разработка методов адаптации к различным производственным и природно-климатическим условиям с целью получения максимальных экономических результатов при минимальном использовании природных ресурсов.

Основные научные направления экологии человека

В современном обществе расширяется промышленное освоение новых климатогеографических зон, а человек проникает в экстремальные регионы планеты и околоземное космическое пространство. В этих условиях чрезвычайно важно изучение адаптации различных групп (этнических, возрастных, профессиональных и др.) к изменяющимся условиям среды.

Ключевые теоретические проблемы, стоящие перед экологией человека:

- Эволюционные механизмы - исследование эволюции механизмов адаптации на индивидуальном, групповом, организменном и популяционном уровнях.
- Адаптационные механизмы - выявление специфических, неспецифических и конституциональных реакций на воздействие среды.
- Создание экопортретов - изучение эволюционно-генетической типологии и особенностей адаптационных механизмов для создания экологических портретов различных групп населения.
- Роль временных диапазонов - исследование роли фактора времени в формировании адекватных реакций.
- Биологические факторы - изучение влияния космических, земных факторов и их ритмов на состояние здоровья человека или в возникновении нарушений его адаптационных механизмов.
- Социальные факторы - изучение влияния социальных факторов на состояние здоровья человека и возникновение нарушений его адаптационных механизмов.

Генетический груз. Одним из самых серьёзных последствий загрязнения биосферы являются генетические нарушения. Нарушения в генетической информации человека, подрывающие наследственное здоровье населения, объединяются под названием генетического груза. Давление мутаций на каждое поколение людей очень велико. У человека частота мутаций на ген/поколение составляет 5×10^{-5} .

Воспроизводство населения. Существуют большие региональные различия в темпах прироста и воспроизводства населения. Низкая рождаемость и стабильно высокая смертность ведут к снижению естественного прироста

населения. Эта неблагоприятная тенденция у некоторых народов может привести к серьёзным социальным и биологическим последствиям.

Саноцентрический подход

Здоровье - полное физическое, психическое, социальное и нравственное благополучие, а не только отсутствие болезней или физических дефектов. С экологической точки зрения именно такое понятие здоровья отражает наличие полной гармонии, приспособления организма к условиям окружающей среды. Как правило, усилия здравоохранения ориентированы преимущественно на диагностику и лечение заболеваний, тогда как здоровье населения - производное многочисленных воздействий на организм человека, включая природно-климатические, производственные, социальные, бытовые условия, генетическую отягощённость а также уровни трудовой активности и творческого потенциала.

Современная медицина имеет дело преимущественно с отрицательными последствиями научно-технического прогресса. Она получает в качестве пациентов людей, которые не смогли адаптироваться к условиям окружающей среды. Сюда относятся как пациенты без ярко выраженных клинических проявлений, так и люди с хроническими заболеваниями в стадии ремиссии, когда острая фаза прошла, но болезнь не побеждена окончательно. Именно о них (условно здоровых) сегодня необходимо позаботиться особо. Всё больше учёных утверждают, что будущее медицины за саноцентризмом (санитас - здоровье).

Данные об ухудшении состояния здоровья населения, связанном с неблагоприятным изменением среды обитания, заставляют искать методы воздействия на окружающую среду. Поэтому для решения важнейших проблем экологии человека целесообразно проводить мониторинг окружающей среды и исследовать влияние экологических условий на здоровье и социально-трудовой потенциал людей.

Цель мониторинга - выявление физического, химического, биологического загрязнения окружающей среды антропогенного происхождения.

Биоэкологический мониторинг окружающей среды необходимо проводить на основе оценки структур здоровья населения в различных территориально-производственных комплексах.

Структура здоровья - выраженное в процентах соотношение между группами населения с различным уровнем здоровья (популяционно-экологический паспорт предприятия, села, города, региона, республики, страны, континента, планеты).

Оценка здоровья - главная задача экологии человека для выполнения общественно-социальной роли звена обратной связи в программе экологических и биосферных исследований.

Экология человека и проблемы адаптации

Экология человека и проблемы адаптации неразрывно связаны между собой и в настоящее время выдвигаются на одно из первых мест среди общечеловеческих глобальных проблем. В ходе дальнейшей пространственной экспансии человек будет сталкиваться с действием ряда факторов, с которыми он ранее в ходе эволюционного развития не встречался: радиацией, невесомостью, излучениями физической природы, техногенным загрязнением, необычными миграциями, информационной перегрузкой, нервно-психическим напряжением.

Разрабатывая классификацию процессов адаптации, следует учитывать:

- факторы среды (физико-химические, биологической природы и социально-психические стресс-факторы);
- факторы и свойства самого организма в зависимости от половозрастных, конституционных, национальных особенностей и др.;
- роль сильных и слабых воздействий среды в эволюции человека;
- характер адаптационных перестроек в регуляторных и гомеостатических системах;
- уровень организации биосистемы, начиная от молекулярно-клеточного уровня организации до целостного организма.

Медицинская экология и экологическая физиология

Медицинская экология - область научного знания, интегрирующая в единый комплекс гигиену, токсикологию и экологию человека (Реймерс Н.Ф., 1990). К сфере медицинской экологии может быть отнесено изучение следующих вопросов:

- показатели (параметры) различных функций и систем организма как критерии оценки качества окружающей среды;
- роль и место факторов окружающей среды в её влиянии на здоровье по доле в совокупном воздействии (пестицидов, радионуклидов, минеральных удобрений, других химических веществ, электромагнитных полей и т.д.);
- экологические аспекты совокупного воздействия на людей негативных и позитивных факторов окружающей среды;
- оценка медико-экологического риска и медико-экологической ёмкости ландшафтов;
- разработка медико-экологических нормативов.

Таким образом, медицинская экология - часть медицины, которая подчёркивает экологический подход к изучению медицинских проблем.

Географическая патология. В структуре клинической экологии отдельно представлена географическая патология, которая отражает особенности развития и течения различных заболеваний, обусловленных

климатогеографическими условиями. Наглядным примером могут служить эндемические инфекции, микроэлементозы, горная болезнь и другая патология, развитие адаптивной гипертензии малого круга кровообращения в условиях высокогорья и в районах Крайнего Севера.

Экологическая физиология

Новое направление в физиологии - экологическая физиология. Эта дисциплина изучает взаимоотношения физиологических реакций (функций) как между собой в организме, так и с внутренней и внешней средой, а также у различных индивидуумов, групп, популяций и т.д. Интенсивно развивается экологическая физиология человека, в которой выделяются физиологические системы-мишени экосignальных факторов и экологические факторы. В экологической физиологии рассматриваются изменения функций под влиянием кратковременных и длительных воздействий экстремальных факторов среды, при этом должное внимание уделяют проблемам психологической и социальной адаптации человека.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Когда и кем было сформулировано первое понятие экологии как науки?
2. Назовите этапы развития экологии.
3. Какую роль в становлении экологии сыграли труды Ч. Дарвина?
4. Как развивалась экология животных?
5. Какие теоретические понятия были сформулированы?
6. В чём заключается роль В.И. Вернадского в становлении экологии как науки?
7. Назовите причины актуализации экологии в двадцатом столетии.
8. Какие основные техногенные экологические факторы вы знаете? Дайте их характеристику.
9. Назовите основные системообразующие принципы классификации в экологии.
10. Дайте определение экологии человека. Что является предметом и объектами изучения экологии человека?
11. В чём заключается структура и какие ключевые проблемы стоят перед экологией человека?
12. Дайте определение медицинской экологии и назовите её структуру.
13. Что изучает экологическая физиология?

ГЛАВА 2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА

При изучении изменений, происходящих в организме под влиянием совокупности экологических (природных и антропогенных) факторов, применяют термин «адаптация». Под адаптацией понимают все виды врождённой и приобретённой приспособительной деятельности, которые обеспечиваются физиологическими реакциями, происходящими на клеточном, органном, системном и организменном уровнях. В этой главе рассмотрены подходы к изучению адаптации, эволюция и формы адаптации, теории адаптации, адаптогенные факторы, механизмы адаптации.

Подходы к изучению адаптации

При изучении адаптации применяют системный и индивидуальный подходы.

Системный подход к адаптации (рис. 2-1) предполагает необходимость изучения адаптации и как процесса, и как состояния системы, для которой характерно подвижное равновесие, сохраняющее постоянство структур лишь при непрерывном движении всех компонентов системы. В итоге уравнивание со средой происходит за счёт приобретения нового системного качества.

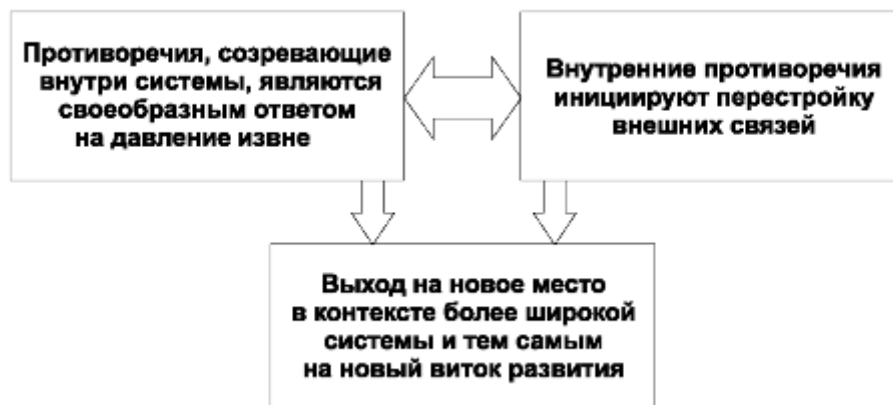


Рис. 2-1. Системный характер адаптационных изменений

Индивидуальный подход к адаптации человека можно охарактеризовать как совокупность социально-биологических свойств и особенностей, необходимых для устойчивого существования индивидуума в конкретной экологической среде обитания. Другими словами, для всякого организма существует оптимальная эндогенная (внутренняя) и экзогенная (внешняя) экологическая среда, причём среда обитания не только с оптимальными характеристиками физических условий, но и с конкретными производственными и социальными условиями. По обе стороны от оптимума трудовая и биологическая активность постепенно снижаются, пока, наконец, условия не станут такими, в которых организм вообще не сможет существовать.

Эволюция и формы адаптации

Адаптация тесно связана с эволюцией организмов и устойчиво адаптированными считаются те, которые приспособились к изменённым условиям, размножаются и дают в новой среде обитания жизнестойкое потомство. Существуют две принципиально различные формы адаптации: генотипическая и фенотипическая.

- Генотипическая адаптация, в результате которой на основе наследственности, мутаций и естественного отбора формировались современные виды животных.
- Фенотипическая адаптация формируется в процессе взаимодействия конкретного организма с окружающей его средой обитания.

Структурные следы адаптации имеют важное биологическое значение, так как защищают человека от предстоящих встреч с неадекватными и опасными факторами среды. В то же время результаты фенотипической адаптации не передаются по наследству, что следует считать выгодным для сохранения вида, поскольку следующее поколение адаптируется заново к широкому спектру иногда совершенно новых факторов, требующих выработки новых специализированных реакций.

Типы приспособительного поведения. Различают три типа приспособительного поведения живых организмов в ответ на действие неблагоприятного раздражителя: бегство от неблагоприятного раздражителя, пассивное подчинение раздражителю либо активное противодействие за счёт развития специфических адаптивных реакций.

Гомеостаз и гомеокинез. Система жизнеобеспечения организма, наряду с механизмами поддержания равновесия внутренней среды

(гомеостаз), представлена и генетическими программами развития, осуществление которых невозможно без постоянного изменения этой внутренней среды (гомеокинез), реализуемого посредством многообразных адаптивных процессов (реакций, механизмов, ответов и т.д.). Именно на поддержание генетических программ развития, являющихся ведущей движущей силой в живом организме, направлена деятельность систем репродуктивного, энергетического и адаптационного гомеостата (рис. 2-2). Оптимальное функционирование систем, обеспечивающих три ведущих гомеостата, реализуется через посреднические системы (кровообращение, дыхание, кровь) и регуляторные механизмы вегетативной и эндокринной систем

string language="ru">string language="ru">

Рис. 2-2. Обеспечение деятельности основных гомеостатических систем

Другими словами, под адаптацией понимают все виды врождённой и приобретённой приспособительной деятельности, которые обеспечиваются определёнными физиологическими реакциями, происходящими на клеточном, органном, системном и организменном уровнях. Это

универсальное определение адаптации отражает необходимость соблюдения в живом мире фундаментального закона биологии, сформулированного ещё Клодом Бернаром, - закона постоянства внутренней среды.

Теории адаптации

При формировании адаптивного гомеостата обеспечивающие адаптацию физиологические процессы развёртываются поэтапно. Например, В.П. Казначеев процесс адаптации при переездах подразделяет на последовательно происходящие фазы: начальную, стабилизации, переходную и истощения.

- 1-я фаза - начальная - характеризуется дестабилизацией функций организма. Она может обеспечить приспособление к действию неадекватных факторов лишь в течение короткого промежутка времени, длительностью, как правило, не более одного года. В ряде случаев явления дестабилизации, характерные для первой фазы адаптации, остаются на многие годы, что, в частности, служит одной из причин возвращения мигрантов на прежнее место жительства.
- 2-я фаза - стабилизации - продолжается от 1 года до 4 лет. В этот период наблюдается синхронизация всех гомеостатических процессов, сопровождающаяся не только функциональной, но и структурной перестройкой биосистемы.
- 3-я фаза - переходная, продолжительностью от 4 до 5-10 лет. В это время у большинства переселенцев происходит стабилизация соматических и вегетативных функций.
- 4-я фаза - истощения, возможна при длительном проживании на Севере, является следствием перенапряжения в гомеостатических системах организма при недостаточности генетически запрограммированных механизмов долговременной адаптации к возмущающим факторам среды обитания.

В обобщённом виде рассматриваемые физиологические процессы на организменном уровне содержатся в экспериментально обоснованной теории «общего адаптационного синдрома», или стресс-реакции (Ганс Селье, 1936).

Стресс - комплекс неспецифических реакций организма в ответ на действие сильных или сверхсильных раздражителей.

Стресс в классической интерпретации протекает в три стадии (рис. 2-3), или фазы, а именно «тревоги», переходную, устойчивой адаптации.

- Первая фаза - «тревоги» - развивается в самом начале действия как физиологического, так и патогенного фактора или изменённых условий внешней среды. При этом реагируют висцеральные системы (кровообращения, дыхания), реакциями которых управляет ЦНС с широким вовлечением гормональных факторов (в частности, гормонов мозгового вещества надпочечников - глюкокортикоидов и катехоламинов), что в свою

очередь сопровождается повышенным тонусом симпатического отдела вегетативной нервной системы.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 2-3. Фазы стресса по Г. Селье

- **Переходная фаза.** Часто выделяют фазу, переходную к устойчивой адаптации. Она характеризуется уменьшением общей возбудимости ЦНС, формированием функциональных систем, обеспечивающих управление адаптацией к возникшим новым условиям. В ходе этой фазы приспособительные реакции организма постепенно переключаются на более глубокий тканевый уровень.
- **Фаза устойчивой адаптации, или резистентности.** Формируются новые координационные соотношения, осуществляются целенаправленные защитные реакции. Подключается гипофизарно-надпочечниковая система, мобилизуются структуры, в результате деятельности которых ткани получают повышенное энергетическое и пластическое обеспечение. Эта стадия и является собственно адаптацией - приспособлением - и характеризуется новым уровнем деятельности тканевых, клеточных, мембранных элементов, перестроившихся благодаря временной активации вспомогательных систем, которые при этом могут функционировать практически в исходном режиме, тогда как тканевые процессы активизируются, обеспечивая гомеостаз, адекватный новым условиям существования.
- Несмотря на экономичность - выключение «лишних» реакций, а следовательно, и излишней затраты энергии, - переключение реактивности организма на новый уровень осуществляется при определённом напряжении управляющих систем. Это напряже-

ние названо «цена адаптации». Поскольку эта стадия связана с постоянным напряжением регуляторных механизмов, перестройкой соотношений нервных и гуморальных механизмов, формированием новых функциональных систем, то эти процессы при сверхпороговой интенсивности стрессорных факторов могут вызвать развитие стадии истощения.

Адаптогенные факторы

Селье назвал факторы, воздействие которых приводит к адаптации, стресс-факторами. Другое их название - экстремальные факторы. Экстремальными могут быть не только отдельные воздействия на организм, но и изменённые условия существования в целом (например, перемещение человека с юга на Крайний Север и т.д.). По отношению к человеку адаптогенные факторы могут быть природными и социальными, связанными с трудовой деятельностью.

- **Природные факторы.** В ходе эволюционного развития живые организмы адаптировались к действию широкого спектра природных раздражителей. Действие природных факторов, вызывающих развитие адаптационных механизмов, всегда является комплексным, так что можно говорить о действии группы факторов того или иного характера. Например, все живые организмы в ходе эволюции прежде всего приспособились к земным условиям существования: определённому барометрическому давлению и гравитации, уровню космических и тепловых излучений, строго определённому газовому составу окружающей атмосферы и т.д.
- **Социальные факторы.** Помимо того, что человеческий организм подвержен тем же природным влияниям, что и организм животных, социальные условия жизни человека, факторы, связанные с его трудовой деятельностью, породили специфические факторы, к которым необходимо адаптироваться. Их число растёт с развитием цивилизации. Так, с расширением среды обитания появляются совершенно новые для человеческого организма условия и воздействия. Например, космические полёты приносят новые комплексы воздействия. К их числу относится невесомость - состояние, абсолютно неадекватное для любого организма. Невесомость сочетается с гипокинезией, изменением суточного режима жизни и т.д.

Механизмы адаптации

Адаптация начинает развиваться на фоне генерализованной ориентировочной реакции, активации неспецифического, а также специфического ответа на причинный фактор. В последующем формируются временные и функциональные системы, обеспечивающие организму либо «уход» от действующего чрезвычайного агента, либо преодоление патогенных его эффектов, либо оптимальный уровень жизнедеятельности, несмотря на продолжающееся влияние этого агента, т.е. собственно адаптацию.

Аварийная фаза адаптации (тревоги) заключается в мобилизации компенсаторных, защитных и приспособительных механизмов. Это проявляется триадой закономерных изменений - активации, гиперфункции, мобилизации.

- Активация «исследовательской» поведенческой деятельности индивида, направленная на получение максимума информации о чрезвычайном факторе и возможных последствиях его действия.
- Гиперфункция многих систем организма, но преимущественно тех, которые непосредственно (специфически) обеспечивают приспособление к данному фактору. Эти системы (физиологические и функциональные) называют доминирующими.
- Мобилизация органов и физиологических систем (сердечнососудистой, дыхательной, крови, системы иммунобиологического надзора, метаболизма

и др.), которые реагируют на воздействие любого чрезвычайного для данного организма фактора.

- В основе развития аварийной фазы адаптации лежит несколько взаимосвязанных механизмов, запуск которых осуществляется в результате активации под действием чрезвычайного фактора вегетативной нервной (симпатического отдела) и эндокринной систем и как следствие - значительного увеличения в крови и других жидкостях организма так называемых стрессорных, активирующих функцию и катаболические процессы гормонов и нейромедиаторов - адреналина, норадреналина, глюкагона, глюко- и минералокортикоидов, тиреоидных гормонов.
- Биологический смысл реакций, развивающихся в аварийную фазу адаптации (несмотря на их неспецифичность, несовершенство, высокую энергетическую и субстратную «стоимость»), заключается в создании условий, необходимых для того, чтобы

организм «продержался» до этапа формирования его устойчивой адаптации (резистентности) к действию экстремального фактора.

Переходная фаза адаптации характеризуется уменьшением возбудимости ЦНС, формированием функциональных систем, обеспечивающих управление адаптацией к новым условиям. Снижается интенсивность гормональных сдвигов, постепенно выключается ряд систем и органов, первоначально вовлечённых в реакцию. В ходе этой фазы приспособительные реакции организма постепенно переключаются на более глубокий - тканевый - уровень. Гормональный фон видоизменяется, усиливают своё действие гормоны коры надпочечников - «гормоны адаптации».

Стадия устойчивой, или долговременной адаптации организма к действию чрезвычайного фактора реализуется следующим образом. Происходят:

- формирование состояния специфической устойчивости организма как к конкретному агенту, вызвавшему адаптацию, так нередко и к другим факторам - перекрестная адаптация;
- увеличение мощности и надёжности функций органов и доминирующих физиологических систем, обеспечивающих адаптацию к определённому фактору. В таких системах наблюдается увеличение числа и/или массы структурных элементов (т.е. гипертрофия и гиперплазия), желёз внутренней секреции, эффекторных тканей и органов.

Комплекс таких изменений обозначают как структурный след процесса адаптации. Устраняются признаки стрессорной реакции, формируется эффективное приспособление организма к чрезвычайному фактору, вызвавшему процесс адаптации. В результате формируется надёжная и устойчивая адаптация организма к меняющимся социально-биологическим условиям среды. Реализуются процессы как активировавшиеся ранее, так и включающиеся дополнительно. К числу последних относятся реакции,

обеспечивающие преимущественное энергетическое и пластическое обеспечение клеток доминирующих систем. Это сочетается с лимитированием снабжения кислородом и субстратами метаболизма других систем организма и осуществляется за счёт реакций двух категорий:

- перераспределения кровотока - увеличения его в тканях и органах доминирующих систем за счёт снижения в других;
- активации генетического аппарата длительно гиперфункционирующих клеток и последующей гипертрофии и гиперплазии субклеточных структурных элементов при одновременном торможении экспрессии генов в клетках недоминирующих систем и органов (например, пищеварения, мышечной системы, почек и др.).

Дизадаптация. В большинстве случаев процесс адаптации завершается формированием долговременной устойчивости организма к действующему на него чрезвычайному фактору. И в то же время фаза стойкой адаптации связана с постоянным напряжением управляющих и исполнительных структур, что может привести к их истощению. Истощение управляющих механизмов, с одной стороны, и клеточных механизмов, связанных с повышенными энергетическими затратами, с другой стороны, приводит к дезадаптации.

Незавершённая адаптация возникает при истощении функциональных резервов организма и включает централизацию управления и повышение реактивности механизмов вегетативной регуляции. Состояние незавершённой адаптации свойственно не только значительной части лиц, проживающих в экстремальных климатогеографических условиях, экспедиционно-вахтовым рабочим, но и части населения мегаполисов средней климатической полосы, экологическая обстановка в которых неблагоприятна.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дайте определение адаптации.
2. Какие вы знаете формы адаптации?
3. В чём суть индивидуального подхода к адаптации?
4. Какие теории адаптации существуют?
5. Назовите фазы общего адаптационного синдрома.
6. Какие вы знаете адаптогенные факторы?
7. Что такое незавершённая адаптация?

В предыдущей главе были разобраны общие (т.е. неспецифические) закономерности адаптации, но организм человека отвечает по отношению к конкретным факторам и специфическими приспособительными реакциями. Именно такие реакции адаптации (к изменению температуры, к различному режиму двигательной активности, к невесомости, к гипоксии, к дефициту

информации, к психогенным факторам, а также особенности адаптации человека и управление адаптацией) рассмотрены в этой главе.

АДАПТАЦИЯ К ИЗМЕНЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ

Температура тела человека, как и любого гомойотермного организма, характеризуется постоянством и колеблется в чрезвычайно узких границах. Эти границы составляют от 36,4 °С до 37,5 °С.

Адаптация к действию низкой температуры

Условия, при которых организм человека должен адаптироваться к холоду, могут быть различными. Это может быть работа в холодных цехах (холод действует не круглосуточно, а чередуясь с нормальным температурным режимом) или адаптация к жизни в северных широтах (человек в условия Севера подвергается действию не только низкой температуры, но и изменённого режима освещённости и уровня радиации).

- Работа в холодных цехах. Первые дни в ответ на низкую температуру теплопродукция нарастает неэкономично, избыточно, теплоотдача ещё недостаточно ограничена. После установления фазы стойкой адаптации процессы теплопродукции интенсифицируются, теплоотдачи - снижаются; в конечном счёте устанавливается оптимальный баланс для поддержания стабильной температуры тела.
- Адаптация к условиям Севера характеризуется несбалансированным сочетанием теплопродукции и теплоотдачи. Снижение эффективности теплоотдачи достигается благодаря уменьшению

и прекращению потоотделения, сужению артериальных сосудов кожи и мышц. Активация теплопродукции вначале осуществляется за счёт увеличения кровотока во внутренних органах и повышения мышечного сократительного термогенеза. Аварийная стадия. Обязательной составляющей адаптивного процесса является включение стрессорной реакции (активация ЦНС, повышение электрической активности центров терморегуляции, увеличение секреции либеринов в нейронах гипоталамуса, в аденоцитах гипофиза - адренокортикотропного и тиреотропного гормонов, в щитовидной железе - тиреоидных гормонов, в мозговом веществе надпочечников - катехоламинов, а в их коре - кортикостероидов). Эти изменения существенно модифицируют функцию органов и физиологических систем организма, изменения в которых направлены на увеличение кислород-транспортной функции (рис. 3-1).

ГЛАВА 3. АДАПТАЦИЯ ОРГАНИЗМА К РАЗЛИЧНЫМ УСЛОВИЯМ СРЕДЫ

string language="ru">string language="ru">

Рис. 3-1. Обеспечение кислород-транспортной функции при адаптации к холоду

Стойкая адаптация сопровождается усилением липидного обмена. В крови повышается содержание жирных кислот и несколько снижается уровень сахара, происходит вымывание жирных кислот из жировой ткани за счёт усиления «глубинного» кровотока. В митохондриях, адаптированных к условиям Севера, имеется тенденция к разобщению фосфорилирования и окисления, доминирующим становится окисление. Более того, в тканях жителей Севера относительно много свободных радикалов.

Холодная вода. Физическим агентом, через который низкая температура влияет на организм, чаще всего является воздух, но может быть и вода. Например, при нахождении в холодной воде охлаждение организма происходит быстрее, чем на воздухе (вода обладает в 4 раза большей теплоёмкостью и в 25 раз большей теплопроводностью, чем воздух). Так, в воде, температура которой +12 °С, теряется тепла в 15 раз больше, чем на воздухе при такой же температуре.

- Только при температуре воды +33-35 °С температурные ощущения находящихся в ней людей считают комфортными и время пребывания в ней не ограничено.
- При температуре воды +29,4 °С люди могут находиться в ней более суток, но при температуре воды +23,8 °С это время составляет 8 ч 20 мин.
- В воде с температурой ниже +20 °С быстро развиваются явления острого охлаждения, а время безопасного пребывания в ней исчисляется минутами.
- Пребывание человека в воде, температура которой +10-12 °С, в течение 1 ч и менее вызывает угрожающие для жизни состояния.
- Пребывание в воде при температуре +1 °С неминуемо ведёт к смерти, а при +2-5 °С уже через 10-15 мин вызывает угрожающие для жизни осложнения.
- Время безопасного пребывания в ледяной воде составляет не более 30 мин, а в некоторых случаях люди умирают через 5- 10 мин.

Организм человека, погружённого в воду, испытывает значительные перегрузки в связи с необходимостью поддерживать постоянную температуру «ядра тела» из-за высокой теплопроводности воды и отсутствия вспомогательных механизмов, обеспечивающих термоизоляцию человека в воздушной среде (теплоизоляция одежды резко снижается за счёт её намокания, исчезает тонкий слой нагретого воздуха у кожи). В холодной воде у человека остаются только два механизма для поддержания постоянной

температуры «ядра тела», а именно: увеличение производства тепла и ограничение поступления тепла от внутренних органов к коже.

- Ограничение поступления тепла от внутренних органов к коже (и от кожи в окружающую среду) обеспечивается периферической вазоконстрикцией, максимально выраженной на уровне кожного покрова, и внутримышечной вазодилатацией, степень которой зависит от локализации охлаждения. Эти вазомоторные реакции, перераспределяя объём крови по направлению к центральным органам, способны поддерживать температуру «ядра тела». Одновременно с этим происходит уменьшение объёма плазмы за счёт повышения проницаемости капилляров, клубочковой фильтрации и снижения канальцевой реабсорбции.

- Увеличение производства тепла (химический термогенез) происходит посредством повышенной мышечной активности, проявлением которой является дрожь. При температуре воды +25 °С дрожь наступает, когда температура кожи падает до +28 °С. В развитии этого механизма различают три последовательных фазы:

- начальное снижение температуры «ядра»;

- резкое её возрастание, иногда превышающее температуру «ядра тела» до охлаждения;

- снижение до уровня, зависящего от температуры воды. В очень холодной воде (ниже +10 °С) дрожь начинается весьма резко, очень интенсивна, сочетается с учащённым поверхностным дыханием и ощущением сжатия грудной клетки.

Активация химического термогенеза не предотвращает охлаждения, а рассматривается как «аварийный» способ защиты от холода. Падение температуры «ядра» тела человека ниже +35 °С свидетельствует о том, что компенсаторные механизмы терморегуляции не справляются с разрушающим действием низких температур, наступает глубокое переохлаждение организма. Возникающая при этом гипотермия изменяет все важнейшие жизненные функции организма, так как замедляет скорость протекания химических реакций в клетках. Неизбежным фактором, сопровождающим гипотермию, является гипоксия. Результатом гипоксии являются функциональные и структурные нарушения, которые при отсутствии необходимого лечения приводят к смерти.

Гипоксия имеет сложное и многообразное происхождение.

- Циркуляторная гипоксия возникает из-за брадикардии и нарушений периферического кровообращения.

- Гемодинамическая гипоксия развивается вследствие перемещения кривой диссоциации оксигемоглобина влево.

- Гипоксическая гипоксия наступает при торможении дыхательного центра и судорожного сокращения дыхательных мышц.

Адаптация к действию высокой температуры

Высокая температура может действовать на организм человека при разных ситуациях (например, на производстве, при пожаре, в боевых и аварийных условиях, в бане). Механизмы адаптации направлены на увеличение теплоотдачи и снижение теплопродукции. В результате температура тела (хотя и повышается) остаётся в пределах верхней границы нормального диапазона. Проявления гипертермии в значительной мере определяются температурой окружающей среды.

- При повышении внешней температуры до +30-31 °С происходит расширение артерий кожи и усиление в ней кровотока, увеличивается температура поверхностных тканей. Эти изменения направлены на отдачу организмом избытка тепла путём конвекции, теплопроводения и радиации, но по мере нарастания температуры окружающей среды эффективность этих механизмов теплоотдачи снижается.
- При внешней температуре +32-33 °С и выше прекращаются конвекция и радиация. Ведущее значение приобретает теплоотдача путём потоотделения и испарения влаги с поверхности тела и дыхательных путей. Так, с 1 мл пота теряется примерно 0,6 ккал тепла.

В органах и функциональных системах при гипертермии происходят характерные сдвиги.

- Потовые железы секретируют калликреин, расщепляющий α_2 -глобулин. Это ведёт к образованию в крови каллидина, брадикинина и других кининов. Кинины, в свою очередь, обеспечивают двоякие эффекты: расширение артериол кожи и подкожной клетчатки; потенцирование потоотделения. Эти эффекты кининов существенно увеличивают теплоотдачу организма.
- В связи с активацией симпатoadреналовой системы увеличивается ЧСС и минутный выброс сердца.
- Происходит перераспределение кровотока с развитием его централизации.
- Отмечается тенденция к повышению АД.

В дальнейшем приспособление идёт за счёт снижения теплопродукции и формирования стойкого перераспределения кровенаполнения сосудов. Избыточное потоотделение превращается в адекватное при высокой температуре. Потеря с потом воды и солей может компенсироваться питьём подсолённой воды.

АДАПТАЦИЯ К РЕЖИМУ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

Нередко под влиянием каких-либо требований внешней среды уровень двигательной активности изменяется в сторону его повышения или понижения.

Повышенная активность

Если двигательная активность по необходимости становится высокой, то организм человека должен приспособиться к новому

состоянию (например, к тяжёлой физической работе, занятиям спортом и т.д.). Различают «срочную» и «долговременную» адаптацию к повышенной двигательной активности.

«Срочная» адаптация - начальная, аварийная стадия приспособления - характеризуется максимальной мобилизацией функциональной системы, ответственной за адаптацию, выраженной стрессреакцией и двигательным возбуждением.

- В ответ на нагрузку возникает интенсивная иррадиация возбуждения в корковых, подкорковых и нижележащих двигательных центрах, приводящая к генерализованной, но недостаточно координированной двигательной реакции. Например, возрастает частота сердечных сокращений, но также происходит генерализованное включение «лишних» мышц.
- Возбуждение нервной системы приводит к активации стрессреализующих систем: адренергической, гипоталамо-гипофизарно-адренкортикальной, что сопровождается значительным выбросом катехоламинов, кортиколиберина, АКТГ и соматотропного гормонов. Напротив, концентрация в крови инсулина и С-пептида под влиянием нагрузок понижается.

Стресс-реализующие системы. Изменения метаболизма гормонов при стресс-реакции (особенно катехоламинов и кортикостероидов) приводят к мобилизации энергетических ресурсов организма; потенцируют деятельность функциональной системы адаптации и формируют структурную основу долговременной адаптации.

Стресс-лимитирующие системы. Одновременно с активацией стресс-реализующих систем происходит активация стресс-лимитирующих систем - опиоидных пептидов, серотонинергической и других. Например, параллельно с увеличением в крови содержания АКТГ происходит увеличение концентрации в крови β -эндорфина и энкефалинов.

Нейрогуморальная перестройка при срочной адаптации к физической нагрузке обеспечивает активацию синтеза нуклеиновых кислот и белков, избирательный рост определённых структур в клетках органов, увеличение мощности и экономичности деятельности функциональной системы адаптации при повторяющихся физических нагрузках.

При повторяющихся физических нагрузках увеличивается мышечная масса и возрастает её энергообеспечение. Наряду с этим

происходят изменения в кислород-транспортной системе и эффективности функций внешнего дыхания и миокарда:

- увеличивается плотность капилляров в скелетных мышцах и миокарде;

- увеличивается скорость и амплитуда сокращения дыхательных мышц, возрастает жизненная ёмкость лёгких (ЖЕЛ), максимальная вентиляция, коэффициент утилизации кислорода;
- происходит гипертрофия миокарда, увеличивается число и плотность коронарных капилляров, концентрация миоглобина в миокарде;
- увеличивается число митохондрий в миокарде и энергообеспечение сократительной функции сердца; возрастает скорость сокращения и расслабления сердца при нагрузках, ударный и минутный объёмы.

В результате объём функции приходит в соответствие с объёмом структуры органов, и организм в целом становится адаптированным к нагрузке данной величины.

Пониженная активность

Гипокинезия (ограничение двигательной активности) вызывает характерный симптомокомплекс расстройств, существенно ограничивающих работоспособность человека. Наиболее характерные проявления гипокинезии:

- нарушение регуляции кровообращения при ортостатических воздействиях;
- ухудшение показателей экономичности работы и регуляции кислородного режима организма в покое и при физических нагрузках;
- явления относительной дегидратации, нарушения изоосмии, химизма и структуры тканей, нарушения почечной функции;
- атрофия мышечной ткани, нарушения тонуса и функции нервномышечного аппарата;
- уменьшение объёма циркулирующей крови, плазмы и массы эритроцитов;
- нарушение моторной и ферментативной функций пищеварительного аппарата;
- нарушение показателей естественного иммунитета.

Аварийная фаза адаптации к гипокинезии характеризуется мобилизацией реакций, компенсирующих недостаток двигательных функций. К таким защитным реакциям относится возбуждение симпатичес-

адреналовой системы. Симпатоадреналовая система обуславливает временную, частичную компенсацию нарушений кровообращения в виде усиления сердечной деятельности, повышения сосудистого тонуса и, следовательно, кровяного давления, усиления дыхания (повышение вентиляции лёгких). Однако эти реакции кратковременны и быстро угасают при продолжающейся гипокинезии.

Дальнейшее развитие гипокинезии можно представить себе следующим образом:

- неподвижность способствует, прежде всего, снижению катаболических процессов;
- выделение энергии уменьшается, снижается интенсивность окислительных реакций;
- в крови уменьшается содержание углекислоты, молочной кислоты и других продуктов метаболизма, в норме стимулирующих дыхание и кровообращение.

В отличие от адаптации к изменённому газовому составу, низкой температуре окружающей среды и т.п., адаптация к абсолютной гипокинезии не может считаться полноценной. Вместо фазы резистентности идёт медленное истощение всех функций.

АДАПТАЦИЯ К НЕВЕСОМОСТИ

Человек рождается, растёт и развивается под действием земного притяжения. Сила притяжения формирует функции скелетной мускулатуры, гравитационные рефлексy, координированную мышечную работу. При изменении гравитации в организме наблюдаются различные изменения, определяемые устранением гидростатического давления и перераспределением жидких сред организма, устранением гравитационно-зависимой деформации и механического напряжения структур тела, а также снижением функциональной нагрузки на опорно-двигательный аппарат, устранением опоры, изменением биомеханики движений. В результате формируется гипогравитационный двигательный синдром, который включает изменения сенсорных систем, моторного контроля, функции мышц, гемодинамики.

- Сенсорные системы:
 - снижение уровня опорной афферентации;
 - снижение уровня проприоцептивной активности;
 - изменение функции вестибулярного аппарата;
 - изменение афферентного обеспечения двигательных реакций;
 - расстройство всех форм зрительного слежения;
 - функциональные изменения в деятельности отолитового аппарата при изменении положения головы и действии линейных ускорений.
- Моторный контроль:
 - сенсорная и моторная атаксия;
 - спинальная гиперрефлексия;
 - изменение стратегии управления движениями;
 - повышение тонуса мышц-сгибателей.

- Мышцы:
 - снижение скоростно-силовых свойств;
 - атония;
 - атрофия, изменение композиции мышечных волокон.
- Гемодинамические нарушения:
 - увеличение сердечного выброса;
 - снижение секреции вазопрессина и ренина;
 - увеличение секреции натрийуретического фактора;
 - увеличение почечного кровотока;
 - уменьшение объёма плазмы крови.

Возможность истинной адаптации к невесомости, при которой происходит перестройка системы регулирования, адекватная существованию на Земле, гипотетична и требует научного подтверждения.

АДАПТАЦИЯ К ГИПОКСИИ

Гипоксия - состояние, возникающее в результате недостаточного обеспечения тканей кислородом. Гипоксия нередко сочетается с гипоксемией - уменьшением уровня напряжения и содержания кислорода в крови. Различают гипоксии экзогенные и эндогенные.

- Экзогенные типы гипоксии - нормо- и гипобарическая. Причина их развития: уменьшение парциального давления кислорода в воздухе, поступающем в организм.
- Нормобарическая экзогенная гипоксия связана с ограничением поступления в организм кислорода с воздухом при нормальном барометрическом давлении. Такие условия складываются при:
 - нахождении людей в небольшом и/или плохо вентилируемом пространстве (помещении, шахте, колодце, лифте);
 - нарушениях регенерации воздуха и/или подачи кислородной смеси для дыхания в летательных и глубоинных аппаратах;
 - несоблюдении методики искусственной вентиляции лёгких. -
- Гипобарическая экзогенная гипоксия может возникнуть:
 - при подъёме в горы;
 - у людей, поднятых на большую высоту в открытых летательных аппаратах, на креслах-подъёмниках, а также при снижении давления в барокамере;
 - при резком снижении барометрического давления.

- Эндогенные гипоксии являются результатом патологических процессов различной этиологии.

Различают острую и хроническую гипоксию.

- Острая гипоксия возникает при резком уменьшении доступа кислорода в организм: при помещении исследуемого в барокамеру, откуда выкачивается воздух, отравлении окисью углерода, острым нарушении кровообращения или дыхания.
- Хроническая гипоксия возникает после длительного пребывания в горах или в любых других условиях недостаточного снабжения кислородом.

Гипоксия - универсальный действующий фактор, к которому в организме на протяжении многих веков эволюции выработались эффективные приспособительные механизмы. Реакция организма на гипоксическое воздействие может быть рассмотрена на модели гипоксии при подъёме в горы.

- Первой компенсаторной реакцией на гипоксию является увеличение частоты сердечных сокращений, ударного и минутного объёмов крови. Если организм человека потребляет в покое 300 мл кислорода в минуту, его содержание во вдыхаемом воздухе (а, следовательно, и в крови) уменьшилось на $\frac{1}{3}$, достаточно увеличить на 30% минутный объём крови, чтобы к тканям было доставлено то же количество кислорода. Раскрытие дополнительных капилляров в тканях реализует увеличение кровотока, так как при этом увеличивается скорость диффузии кислорода.

Наблюдается незначительное увеличение интенсивности дыхания, одышка возникает только при выраженных степенях кислородного голодания (pO_2 во вдыхаемом воздухе - менее 81 мм рт.ст.). Объясняется это тем, что усиление дыхания в гипоксической атмосфере сопровождается гипокапнией, которая сдерживает увеличение лёгочной вентиляции, и только

через определённое время (1-2 недели) пребывания в условиях гипоксии происходит существенное увеличение лёгочной вентиляции из-за повышения чувствительности дыхательного центра к углекислому газу.

- Возрастает количество эритроцитов и концентрация гемоглобина в крови за счёт опорожнения кровяных депо и сгущения крови, а далее за счёт интенсификации кроветворения. Уменьшение атмосферного давления на 100 мм рт.ст. вызывает увеличение содержания гемоглобина в крови на 10%.
- Изменяются кислород-транспортные свойства гемоглобина, увеличивается сдвиг кривой диссоциации оксигемоглобина вправо, что способствует более полной отдаче кислорода тканям.
- В клетках возрастает количество митохондрий, увеличивается содержание ферментов дыхательной цепи, что позволяет интенсифицировать процессы использования энергии в клетке.

- Происходит модификация поведения (ограничение двигательной активности, избегание воздействия высоких температур).

Таким образом, в результате действия всех звеньев нейрогуморальной системы происходят структурно-функциональные пере-стройки в организме, в результате которых формируются адаптивные реакции к данному экстремальному воздействию.

ПСИХОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ И ДЕФИЦИТ ИНФОРМАЦИИ

Адаптация к воздействию психогенных факторов протекает поразному у лиц с разным типом ВНД (холериков, сангвиников, флег-матиков, меланхоликов). У крайних типов (холериков, меланхоликов) такая адаптация не является стойкой, рано или поздно факторы, воздействующие на психику, приводят к срыву ВНД и развитию неврозов.

В качестве основных принципов противострессовой защиты можно назвать следующие:

- изоляцию от стрессора;
- активацию стресс-лимитирующих систем;
- подавление очага повышенного возбуждения в ЦНС путём создания новой доминанты (переключения внимания);
- подавление системы отрицательного подкрепления, связанной с негативными эмоциями;
- активацию системы положительного подкрепления;
- восстановление энергетических ресурсов организма;
- физиологическую релаксацию.

Информационный стресс

Один из видов психологического стресса - информационный стресс.

Проблема информационного стресса - проблема XXI сто-летия. Если поток информации превышает сформированные в процессе эволюции возможности мозга для её переработки, развивается информационный стресс. Последствия информационных перегрузок столь велики, что вводятся даже новые термины для обозначения не совсем понятных состояний человеческого организма: синдром хронической усталости, компьютерная зависимость и т.д.

Адаптация к дефициту информации

Мозг нуждается не только в минимальном отдыхе, но и в некотором количестве возбуждения (эмоционально значимых стимулах). Г. Селье описывает это состояние как состояние эустресса. К пос-ледствиям дефицита информации относятся дефицит эмоционально значимых стимулов и нарастающий страх.

- Дефицит эмоционально значимых стимулов, особенно в раннем возрасте (сенсорная депривация), часто приводит к формированию личности агрессора, причём значимость этого фактора в формировании агрессивности на порядок выше, чем физические наказания и другие вредные в воспитательном отношении факторы.

- В условиях сенсорной изоляции человек начинает испытывать нарастающий страх вплоть до паники и галлюцинации. Э. Фромм в качестве одного из важнейших условий созревания индивида называет наличие чувства единения. Э. Эриксон считает, что человеку необходимо идентифицировать себя с другими людьми (референтной группой), нацией и т.п., то есть сказать «Я - такой как они, они такие же, как я». Для человека предпочтительней идентифицировать себя даже с такими субкультурами, как хиппи или наркоманы, чем не идентифицировать себя вовсе.

Сенсорная депривация (от лат. *sensus* - чувство, ощущение и *deprivatio* - лишение) - продолжительное, более или менее полное лишение человека зрительных, слуховых, тактильных или иных ощущений, подвижности, общения, эмоциональных переживаний, осуществляемое либо с экспериментальными целями, либо в резуль-

тате сложившейся ситуации. При сенсорной депривации в ответ на недостаточность афферентной информации активизируются процессы, которые определённым образом воздействуют на образную память.

- По мере увеличения времени пребывания в этих условиях у людей появляется эмоциональная лабильность со сдвигом в сторону пониженного настроения (заторможенность, депрессия, апатия), которые на короткое время сменяются эйфорией, раздражительностью.

- Наблюдаются нарушения памяти, находящиеся в прямой зависимости от цикличности эмоциональных состояний.

- Нарушается ритм сна и бодрствования, развиваются гипнотические состояния, которые затягиваются на относительно продолжительное время, проецируются вовне и сопровождаются иллюзией произвольности.

Таким образом, ограничение движения и информации - факторы, нарушающие условия развития организма, приводящие к деградации соответствующих функций. Адаптация по отношению к этим факторам не носит компенсаторного характера, так как в ней не проявляются типичные черты активного приспособления и преобладают лишь реакции, связанные со снижением функций и приводящие в конечном итоге к патологии.

ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ У ЧЕЛОВЕКА

К особенностям адаптации человека относится сочетание развития физиологических адаптивных свойств организма с искусственными способами, преобразующими среду в его интересах.

Управление адаптацией

Способы управления адаптацией можно разделить на социальноэкономические и физиологические.

К социально-экономическим способам относят все мероприятия, направленные на улучшение условий быта, питания, создания безопасной социальной среды. Эта группа мероприятий имеет крайне важное значение.

Физиологические способы управления адаптацией направлены на формирование неспецифической резистентности организма. В их число входят организация режима (смены сна и бодрствования, отдыха и труда), физическая тренировка, закаливание.

- Физическая тренировка. Наиболее эффективным средством повышения сопротивляемости организма болезням и неблагоприятным влияниям среды являются регулярные физические упражнения. Двигательная активность оказывает влияние на многие системы жизнедеятельности. Она распространяется на сбалансированность метаболизма, активизирует вегетативные системы: кровообращение, дыхание.
- Закаливание. Существуют мероприятия, направленные на повышение сопротивляемости организма, объединённые понятием «закаливание». Классическим примером закаливания является постоянная тренировка холодом, водные процедуры, зарядка под открытым небом в любую погоду.
- Дозированное использование гипоксии, в частности в виде тренировочного пребывания человека на высоте около 2-2,5 тыс. метров, повышает неспецифическую резистентность организма. Гипоксический фактор способствует повышенной отдаче кислорода тканям, высокой утилизации его в окислительных процессах, активизации ферментативных тканевых реакций, экономичному использованию резервов сердечно-сосудистой и дыхательной систем.

Стресс-реакция из звена адаптации может при чрезмерно сильных воздействиях среды трансформироваться в звено патогенеза и индуцировать развитие болезней - от язвенных до тяжёлых сердечно-сосудистых и иммунных.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В чём заключается адаптация к действию низкой температуры?
2. Назовите отличия приспособления к действию холодной воды.
3. Назовите механизм адаптации к действию высокой температуры.
4. В чём заключается приспособление к высокой физической активности?
5. В чём заключается приспособление к низкой физической активности?
6. Возможна ли адаптация к невесомости?
7. В чём отличие адаптации к острой гипоксии от адаптации к хронической гипоксии?

8. Чем опасна сенсорная депривация?
9. В чём заключаются особенности адаптации человека?
10. Какие способы управления адаптацией вы знаете?

ГЛАВА 4. БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ И СРЕДА ОБИТАНИЯ

Любое биологическое явление, любая физиологическая реакция имеют периодическую природу, так как у живых организмов, в течение многих миллионов лет живущих в условиях ритмических изменений геофизических параметров среды, выработались и способы приспособления к ним.

Ритмичность - фундаментальная характеристика функционирования живого организма - прямо связана с механизмами обратной связи, саморегуляции и адаптации, а согласование ритмических циклов достигается благодаря важной особенности колебательных процессов - стремлению к синхронизации. Основное назначение ритмичности заключается в поддержании гомеостаза организма при изменении факторов внешней среды. При этом гомеостаз понимается не как статичная устойчивость внутренней среды, а как динамический ритмический процесс - ритмостаз, или гомеокинез.

Собственные ритмы организма не автономны, а связаны с ритмическими процессами внешней среды: сменой дня и ночи, годовыми сезонами и т.д.

Внешние задаватели времени

В терминологии, характеризующей внешние факторы и порождаемые ими внутренние колебания, нет единообразия. Например, существуют названия «внешние и внутренние датчики времени», «задаватели времени», «внутренние биологические часы», «генераторы внутренних колебаний» - «внутренние осцилляторы».

Биологический ритм - периодическое повторение некоторого процесса в биологической системе через более или менее регулярные промежутки времени. Биоритм - не просто повторяющийся, а и самоподдерживающийся и самовоспроизводящийся процесс. Биологические ритмы характеризуются периодом, частотой, фазой и амплитудой колебаний.

- Период - время между двумя одноимёнными точками в волнообразно изменяющемся процессе, т.е. продолжительность одного цикла до первого повтора.
- Частота. Ритмы также могут быть охарактеризованы частотой - числом циклов, совершающихся в единицу времени. Частота ритмов может определяться частотой периодических процессов, протекающих во внешней среде.
- Амплитуда - наибольшее отклонение исследуемого показателя в какую-либо сторону от средней. Амплитуда иногда выражается через мезор, т.е. в процентах от средней величины всех её значений, полученных при регистрации ритма. Удвоенная амплитуда равна размаху колебаний.

- Фаза. Термин «фаза» относится к любой отдельно выделенной части цикла. Чаще всего этим термином пользуются, описывая связь одного ритма с другим. Например, пик активности у одних животных совпадает по фазе с тёмным периодом цикла свет-темнота, у других - со светлым периодом. Если два выделенных отрезка времени не совпадают, то вводится термин разность по фазе, выраженная в соответствующих долях периода. опережение или отставание по фазе означает, что событие произошло раньше или позже ожидаемого срока. Фаза выражается в градусах. Например, если максимум одного ритма соответствует минимуму другого, то разность по фазе между ними составляет 180°.

Акрофаза - точка времени в периоде, когда отмечается максимальное значение исследуемого показателя. При регистрации акрофазы (батифазы) в течение нескольких циклов отмечено, что время её наступления варьирует в определённых пределах, и это время выделено как зона блуждания фазы. Величина зоны блуждания фазы, вероятно, связана с периодом (частотой) ритма. На частоту и фазу биоритмов влияют не только частота и фаза внешнего колебательного процесса, но и его уровень.

Существует циркадианное правило: для дневных организмов характерна положительная корреляция между освещённостью и частотой циркадианного ритма, а для ночных - отрицательная корреляция.

Классификации биоритмов

Классификация ритмов зависит от выбранных критериев: по их собственным характеристикам, по функциям, которые они выполняют, роду процесса, порождающего колебания, а также по биосистеме, в которой наблюдается цикличность.

Спектр возможных ритмов жизни охватывает широкий диапазон масштабов времени - от волновых свойств элементарных частиц

(микроритмов) до глобальных циклов биосферы (макро- и мегаритмов). Пределы их длительности - от многих лет до миллисекунд, группировка иерархическая, но границы между группами в большинстве случаев условны. Верхнюю границу среднечастотных ритмов устанавливают на отметке от 28 ч до 3 с. Периоды от 28 ч до 7 суток либо относят к единой группе мезоритмов, либо часть их (до 3 суток) включают в среднечастотные, а от 4 суток - в низкочастотные.

- Ритмы подразделяют по следующим критериям (Ю. Ашофф, 1984):

- по собственным характеристикам (например, по периоду);
- по биологической системе (например, популяция);
- по роду процесса, порождающего ритм;
- по функции, которую ритм выполняет.

- Предложена классификация, основанная на структурно-функциональных уровнях организации жизни:
 - ритмы молекулярного уровня с периодом секундно-минутного диапазона;
 - клеточные - от околочасовых до окологодových; организменные - от околосуточных до многолетних;
 - популяционно-видовые - от окологодových до ритмов длительностью десятки, сотни и тысячи лет;
 - биогеоценотические - от сотен тысяч до миллионов лет;
 - биосферные ритмы - с периодом сотни миллионов лет.
- Наиболее популярна классификация биологических ритмов F. Halberg и A. Reinberg (1967) (рис. 4.1).

ОТДЕЛЬНЫЕ РИТМЫ

В живой природе наиболее отчётливо выражены ритмы с периодом около 24 ч - циркадианные (лат. *circa* - около, *dies* - день). Позднее префикс «*circa*» стали применять для остальных эндогенных ритмов,

Рис. 4-1. Классификация биоритмов (F. Halberg, A. Reinberg)

отвечающих циклам внешней среды: околоприливные, окололунные, окологодových (*circatidal*, *circalunar*, *circannual*). Ритмы с периодом более коротким, чем циркадианные, определены как ультрадианные, с более длинным - инфрадианные. Среди инфрадианных ритмов выделяют циркасептидианные с периодом (7-3 суток), циркавигентицидианные (21-3 суток), циркатригентицидианные (30-5 суток) и цирканнуальные (1 год-2 мес.).

Ультрадианная ритмика

Если биологические ритмы этого диапазона расположить в порядке уменьшения их частоты, то получается ряд от многогерцовых до многочасовых колебаний. Наиболее высокой частотой (60-100 Гц) отличаются нервные импульсы, затем следуют колебания ЭЭГ с частотой от 0,5 до 70 Гц.

- Декасекундные ритмы были зарегистрированы в биопотенциалах мозга. К этому диапазону относятся и колебания пульса, дыхания, перистальтики кишечника. Минутные ритмы характеризуют психолого-эмоциональное состояние человека: биоэлектрическая активность мышц, ЧСС и дыхания, амплитуда и частота движений изменяются в среднем через каждые 55 с.
- Декаминутные (90 мин) ритмы были открыты в мозговых механизмах ночного сна, которые были названы медленно- и быстроволновой (или парадоксальной) фазами, при этом именно на вторую фазу приходятся сновидения, произвольные движения глаз. Такой же ритм в последующем

был обнаружен в сверхмедленных колебаниях биопотенциалов бодрствующего мозга, связанных с временной динамикой внимания, бдительности оператора.

- Околочасовые ритмы обнаружены не только на системном, но и на нижележащих иерархических уровнях. Этот ритм имеют многие происходящие на клеточном уровне явления: синтез белка, изменение клеточных размеров и массы, ферментативной активности, проницаемости клеточных мембран, секреции, электрической активности.

Циркадианные колебания

Циркадианная система - та основа, благодаря которой проявляются интегративная деятельность и регулирующая роль нейроэндокринной системы, осуществляющей точное и тонкое приспособление организма к постоянно меняющимся условиям окружающей среды.

- Циркадианная периодичность обнаружена в интегральных показателях жизнедеятельности.

- Работоспособность в ночное время снижается, и время выполнения задания, как при свете, так и в темноте ночью более продолжительное, чем днём в тех же условиях.

- Тренировка в ранние утренние часы даёт несколько меньший эффект, чем в середине дня.

- Работоспособность учащихся наиболее высока в предобеденные часы, к 14 ч отмечается значительное её снижение, второй её подъём приходится на 16-17 ч, затем наблюдается новый спад.

- Суточная периодичность характерна не только для ВНД, но и для нижележащих иерархических систем организма.

- Зарегистрированы 24-часовые изменения церебральной и кардиальной гемодинамики, ортостатической устойчивости.

- Выявлен суточный ритм сопряжённости фаз сердечного цикла и дыхания.

- В литературе имеются данные о ночном снижении лёгочной вентиляции и потребления кислорода, падении минутного объёма дыхания (МОД) у лиц молодого, зрелого и среднего возраста.

- Циркадианная ритмичность присуща и функции системы пищеварения, в частности, слюноотделения, секреторной деятельности поджелудочной железы, синтетической функции печени, моторики желудка. Установлено, что наибольшая скорость секреции кислоты с желудочным соком наблюдается вечером, наименьшая - утром.

- На уровне биохимической индивидуальности открыта суточная цикличность для некоторых веществ.

- Концентрация макро- и микроэлементов: фосфора, цинка, марганца, натрия, калия, рубидия, цезия и хлора в крови чело- века, а также железа в сыворотке крови.
 - Суммарное содержание аминокислот и нейромедиаторов.
 - Основной обмен и связанный с ним уровень тиреотропного гормона гипофиза и гормонов щитовидной железы.
 - Система половых гормонов: тестостерон, андростерон, фолликулостимулирующий гормон, пролактин.
 - Гормоны нейроэндокринной системы регуляции стресса - АКТГ, кортизол, 17-оксикортикостероиды, что сопровожда-
- ется циклическими изменениями уровня глюкозы и инсулина. Подобная ритмичность известна и для мелатонина.

Инфраниантные ритмы

Биоритмологами описаны не только суточные, но и многодневные (околонедельные, околосесячные) ритмы, охватывающие все иерархические уровни организма.

- В литературе имеется анализ тонкого спектра колебаний (с периодом 3, 6, 9-10, 15-18, 23-24 и 28-32 дней) частоты сердечных сокращений, АД, мышечной силы.
- Ритм 5-7-дневной длительности зафиксирован в динамике интенсивности энергетического обмена, массы и температуры тела человека.
- Хорошо известны флюктуации результатов клинических анализов содержания в крови эритроцитов и лейкоцитов. У мужчин количество нейтрофилов в венозной крови изменяется с периодом от 14 до 23 дней.
- Среди ритмов этого диапазона наиболее изучены месячные (лунные) циклы. Установлено, что в полнолуние количество случаев послеоперационных кровотечений на 82% больше, чем в другое время, в дни лунных фаз увеличивается частота возникновения инфаркта миокарда.

Цирканнуальные ритмы

В организме животных и человека обнаружены колебания различных физиологических процессов, период которых равен одному году - околосесячные (цирганнуальные), или сезонные ритмы. Цирканнуальная периодичность определена для возбудимости нервной системы, показателей гемодинамики, теплопродукции, реакции на острую холодовую нагрузку, содержание половых и других гормонов, нейромедиаторов, рост детей и др.

ХАРАКТЕРИСТИКА БИОРИТМОВ

При изучении периодических явлений в живых системах важно выяснить, отражает ли ритм, наблюдаемый в биологической системе, реакцию на внешнее по отношению к этой системе периодическое воздействие

(экзогенный ритм, навязываемый задавателем ритма) или же ритм порождается внутри самой системы (эндогенный ритм), наконец, имеется ли сочетание экзогенного ритма и эндогенного генератора ритма.

Задаватели ритмов и функции

Внешние задаватели ритмов могут быть простыми и сложными.

- Простые:

- подача пищи в одно и то же время, что вызывает простые реакции, ограничивающиеся, в основном, вовлечением в активность пищеварительной системы;

- смена света и темноты - также относительно простой задаватель ритма, но он вовлекает в активность не только сон или бодрствование (т.е. одну систему), а весь организм.

- Сложные:

- смена сезонов года, приводящая к длительным специфическим изменениям состояния организма, в частности, его реактивности, устойчивости по отношению к различным факторам: уровню обмена веществ, направленности обменных реакций, эндокринным сдвигам;

- периодические колебания солнечной активности, вызывающие зачастую замаскированные изменения в организме, в значительной мере зависящие от исходного состояния.

Связь времязадавателей с биоритмами

Современные нам представления о связи между экзогенными времязадавателями и эндогенными ритмами (представление о единых биологических часах, полиосцилляторная структура) приведены на рис. 4-2.

Гипотезы о единых биологических часах и полиосцилляторной временной структуре организма вполне совместимы.

- Гипотеза централизованного управления внутренними колебательными процессами (наличие единых биологических часов) относится преимущественно к восприятию смены света и темноты и трансформации этих явлений в эндогенные биоритмы.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 4-2. Механизмы взаимодействия организма с внешними задавателями времени

- Мультиосцилляторная модель биоритмов. Предполагается, что в многоклеточном организме может функционировать главный пейсмейкер, навязывающий свой ритм всем остальным системам. Не исключается существование (наряду с центральным водителем ритма) и второстепенных осцилляторов, также обладающих пейсмейкерными свойствами, но

иерархически подчинённых ведущему. По одному из вариантов этой гипотезы в организме могут функционировать разрозненные осцилляторы, которые образуют отдельные группы, работающие независимо друг от друга.

МЕХАНИЗМЫ РИТМОГЕНЕЗА

Существует несколько точек зрения на механизмы ритмогенеза. Возможно, что источником циркадианной ритмики являются циклические изменения АТФ в цитоплазме клеток или циклы метаболических реакций. Не исключено, что ритмы организма определяют биофизические эффекты, а именно влияние:

- гравитационного поля;
- космических лучей;
- электромагнитных полей (в том числе магнитного поля Земли);
- ионизации атмосферы и т.д.

Ритмы психической активности

Не только биологические и физиологические процессы, но и динамика психической деятельности, в том числе и эмоциональных состояний, подвержены закономерным колебаниям. Например, установлено, что бодрствующее сознание человека имеет волновую природу.

Психологические ритмы могут быть систематизированы в тех же диапазонах, что и биологические.

Ультрадиантные ритмы проявляются во флуктуациях порогов восприятия, времени двигательных и ассоциативных реакций, внимания. Соответствие био- и психоритмов в организме человека обеспечивает нормальную работу всех его органов и систем, так слух человека даёт наибольшую точность оценки интервала времени 0,5-0,7 с, что характерно для темпа движений при ходьбе.

Тактовые ритмы. В колебаниях психических процессов, кроме временных ритмов, были обнаружены так называемые тактовые ритмы, зависящие не от времени, а от номера пробы: человек не может постоянно одинаково реагировать на предъявляемые стиму-

лы, если в предыдущей пробе время реакции было коротким, то в следующий раз организм будет экономить энергию, что приведёт к снижению скорости реагирования и колебанию значения этого пока-зателя от пробы к пробе.

Тактовые ритмы более выражены у детей, а у взрослых усиливаются при снижении функционального состояния нервной системы. При изучении умственного утомления выделены тактовые декасекундные, или двухминутные (0,95-2,3 мин) и десятиминутные (2,3-19 мин) ритмы.

Циркадиантные ритмы вызывают значительные перестройки в деятельности организма, влияющие на психическое состояние и работоспособность человека. Так, электрическая чувствительность глаза изменяется на

протяжении дня: в 9 ч утра она повышается, к 12 ч дня достигает максимума и затем снижается. Подобная суточная динамика присуща не только психическим процессам, но и психо- эмоциональным состояниям индивида. В литературе описаны суточные ритмы интеллектуальной работоспособности, субъективной готовности к работе и способности к сосредоточению, кратковременной памяти. У лиц с утренним типом работоспособности отмечается более высокий уровень тревоги, они отличаются меньшей устойчивостью к фрустрирующим факторам. Люди утреннего и вечернего типов имеют разный порог возбудимости, склонность к экстраили интроверсии.

ЭФФЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВРЕМЯЗАДАВАТЕЛЕЙ

Биологические ритмы отличаются большой стойкостью, изменение привычных ритмов времязадавателей далеко не сразу сдвигает биоритмы и приводит к десинхронозу.

Десинхроноз - рассогласование циркадианных ритмов - нарушение исходной архитектоники циркадианной системы организма. При нарушении синхронизации ритмов организма и датчиков времени (внешний десинхроноз) организм вступает в стадию тревоги (внутренний десинхроноз). Сущность внутреннего десинхроноза заключается в рассогласовании по фазе циркадианных ритмов организма, в результате чего возникают различные нарушения его благополучия: расстройства сна, снижение аппетита, ухудшение самочувствия, настроения, падение работоспособности, невротические расстройства и даже органические заболевания (гастриты, язвенная болезнь и др.). Наиболее ярко перестройка биоритмов проявляется при быстрых перемещениях (авиаперелётах) в глобальном масштабе. Дальние перемещения вызывают выраженный десинхроноз, характер и глубина которого определяются: направлением, временем, длительностью перелёта; индивидуальными особенностями организма; трудовыми нагрузками; климатическим контрастом и т.д. Выделено пять типов перемещений (рис. 4-3).

string language="ru">string language="ru">

Рис. 4-3. Хронофизиологическая классификация типов перемещения:

1 - трансмеридианное; 2 - трансширотное; 3 - диагональное (смешанное);
4 - трансэкваториальное; 5 - асинхронное. (В.А. Матюхин и др., 1999)

- Трансмеридианное перемещение (1). Главный показатель такого перемещения - угловая скорость движения, выражаемая в градусах долготы. Её можно измерять числом часовых поясов (15?), пересечённых за сутки.

- Если скорость перемещения превышает 0,5 часового пояса за сутки, возникает *внешний* десинхроноз - разность фаз фактического и должного максимумов суточной кривой физиологических функций.

- Смена 1-2 часовых поясов не вызывает десинхронизации (имеется зона нечувствительности, в пределах которой фазовая десинхронизация не проявляется). При перелётах через 1-2 часовых пояса типичные для фазовой десинхронизации уплощения суточных колебаний физиологических функций не отмечаются, и ритм мягко «затягивается» внешними датчиками времени.

- При дальнейшем перемещении на восток или запад фазовое рассогласование возрастает как функция времени. На разных географических широтах критическая угловая скорость достигается при различных линейных скоростях перемещения: в приполярных широтах даже при небольших скоростях, соответствующих скорости движения пешехода, не исключено возникновение десинхронизации. Практически скорость всех транспортных средств существенно превышает 0,5 угловых часа в сутки. Эффект десинхронизации биологических ритмов проявляется при таком типе перемещений в наиболее выраженной форме.

- При скорости перемещения, превышающей три и более часовых поясов в сутки, внешние синхронизаторы уже не в состоянии «затягивать» циркадианные колебания физиологических функций и наступает десинхроноз.

- Трансширотное перемещение (2) - вдоль меридиана, с юга на север или с севера на юг - не вызывая фазового рассогласования датчиков, даёт эффект, воспринимаемый как рассогласование фактической и ожидаемой амплитуд синхронизаторов. При этом изменяются фазы годового ритма, проявляется сезонная десинхронизация.

- На первое место при таких перемещениях выступает несоответствие сезонной готовности физиологических систем требованиям иного сезона в новом месте. Фазового рассогласования ритмов внешних датчиков и биоритмов организма нет, но не совпадают их суточные амплитуды.

- Дальность перемещения, при которой климатические условия и структура фотопериодизма на новом месте начинают вызывать напряжение механизмов поддержания сезонного ритма физиологических функций, зависит от географической широты: оценка ширины зоны нечувствительности показывает, что она может изменяться от 1400 км у экватора до 150 км на широте 80°.

- «Окно хронофизиологической нечувствительности», его линейные и угловые размеры зависят от широты. Скорость, выраженная в числе «окон», пересекаемых за сутки, будет при равной линейной скорости возрастать по направлению от экватора к полюсу до очень больших величин. Сужение «окна» по мере движения к северу - важное обстоятельство, свидетельствующее о повышенной хронофизиологической напряжённости при перемещениях в приполярных широтах по сравнению с низкими или средними широтами.

- Перемещение по диагонали (3) подразумевает изменение долготы и широты, большой климатический контраст и значительные изменения поясного времени. Эти перемещения не являются простой суммой (суперпозицией) эффектов «горизонтального» (1) и «вертикального» (2) перемещения. Это сложный комплекс хронобиологических раздражителей, реакция на который может существенно отличаться от реакций на каждый вид десинхронизации, рассматриваемый изолированно.
- Перемещение в другое полушарие (4) с пересечением экваториальной зоны. Главный воздействующий фактор такого перемещения - контрастная смена сезона, вызывающая глубокий сезонный десинхроноз, смещение и инвертирование фазы годового цикла физиологических функций.
- Пятый тип перемещений - хроноэкологический режим, при котором колебательные свойства среды резко ослаблены или полностью отсутствуют. К таким перемещениям относятся:

- орбитальные полёты;
- пребывание в условиях с резко ослабленными суточными и сезонными синхронизаторами (подводных лодках, космических кораблях);
- вахтовые режимы труда со скользящим графиком смен и т.д. Среда такого типа предложено называть «асинхронными». Воздействие подобной «хронодепривации» вызывает грубые нарушения суточной и другой периодики.

СУБЪЕКТИВНОСТЬ ВОСПРИЯТИЯ ВРЕМЕНИ

Течение времени воспринимается субъективно, в зависимости от интенсивности физической или психической деятельности каждого отдельного индивидуума. Время как бы становится более ёмким при большей занятости или при необходимости принять правильное решение в экстремальной ситуации.

- За считанные секунды человек успевает проделать сложнейшую работу. Например, лётчик в аварийной ситуации принимает решение изменить тактику управления самолётом. При этом он

мгновенно учитывает и сопоставляет динамику развития многочисленных факторов, влияющих на условия полёта.

- В процессе изучения субъективного восприятия времени исследователи применяли тест «индивидуальная минута». Человек по сигналу отсчитывает секунды, а экспериментатор следит за стрелкой секундомера. Оказалось, что у одних «индивидуальная минута» короче истинной, у других - длинней, расхождения в ту или иную сторону могут быть весьма значительными.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ В РАЗНЫХ КЛИМАТОГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

- Высокогорье. В условиях высокогорья околосуточные ритмы гемодинамики, дыхания, газообмена зависят от метеофакторов и изменяются прямо пропорционально изменениям температуры воздуха и скорости ветра и обратно пропорционально изменениям атмосферного давления и относительной влажности воздуха.

- Высокие широты. Специфические свойства полярного климата и особенности среды определяют особенности биоритмов у жителей:

- В период полярной ночи отсутствуют достоверные циркадианные колебания потребления кислорода. Поскольку значение коэффициента использования кислорода отражает интенсивность энергообмена, то снижение размаха колебаний потребления кислорода во время полярной ночи является косвенным свидетельством в пользу фазового рассогласования различных энергозависимых процессов.

- У жителей Крайнего Севера и у полярников в период полярной ночи (зимой) наблюдают снижение амплитуды суточного ритма температуры тела и смещение акрофазы на вечерние часы, а весной и летом - на дневные и утренние часы.

- Аридная зона. При адаптации человека к пустыне ритмические колебания условий окружающей среды приводят к синхронизации ритмики функционального состояния организма с этими колебаниями. Таким путём достигается частичная оптимизация деятельности компенсаторных механизмов в экстремальных условиях среды. Например, акрофаза ритма средневзвешенной температуры кожи приходится на 16 ч 30 мин, что практически совпадает с максимумом температуры воздуха, температура тела

достигает максимума в 21 ч, коррелируя с максимумом теплообразования.

МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ В ХРОНОБИОЛОГИИ

Косинусоидальная функция. Простейшим периодическим процессом является гармонический колебательный процесс, описываемый косинусоидальной функцией (рис. 4-4):

string language="ru">string language="ru">

Рис. 4-4. Основные элементы гармонического (косинусоидального) колебательного процесса: М - уровень; Т - период; ρ_A , ρ_B , $\alpha\varphi_A$, $\alpha\varphi_B$ - амплитуды и фазы процессов А и В; $2\rho_A$ - размах процесса А; $\alpha\varphi^Ч$ - разность фаз процессов А и В

$$x(t) = M + \rho \cos 2\pi / T X (t - \alpha\varphi^Ч),$$

где:

М - постоянная составляющая; ρ - амплитуда колебаний; Т - период, ч; t - текущее время, ч; $\alpha\varphi^Ч$ - фаза, ч.

- При анализе биоритмов обычно ограничиваются первым членом ряда - гармоникой с периодом, равным 24 ч. Иногда учитывается также гармоника с периодом 12 ч. В результате аппроксимации временной ряд оказывается представленным небольшим числом обобщённых параметров - уровнем M , амплитудой p , фазой $\alpha\phi$.
- Фазовые соотношения между двумя гармоническими колебательными процессами могут быть различными. Если фазы двух процессов одинаковы, они называются синфазными, если разница между фазами равна $T/2$, - противофазными. О фазовом опережении или фазовом отставании одного гармонического процесса A относительно другого B , говорят тогда, когда $\alpha\phi_A < \alpha\phi_B$ или $\alpha\phi_A > \alpha\phi_B$ соответственно.
- Описанные параметры, строго говоря, можно использовать только применительно к гармоническому колебательному процессу. Фактически суточная кривая отличается от математической модели: она может быть несимметричной относительно среднего уровня, а интервал между максимумом и минимумом, в отличие от косинусоиды, оказаться равным не 12 ч и т.д. Ввиду указанных причин использование этих параметров для описания реального колебательного периодического или близкого к периодическому процессу требует известной осторожности.

Хронограммы. Наряду с гармонической аппроксимацией временного ряда широко используется традиционный метод представления результатов биоритмологического исследования в виде суточных хронограмм, т.е. усреднённых по множеству индивидуальных замеров суточных кривых. На хронограмме одновременно со средним значением показателя на определённый час суток указывается доверительный интервал в виде среднеквадратического отклонения или ошибки среднего

- В литературе встречается несколько типов хронограмм. Если дисперсия индивидуальных уровней велика, периодическая компонента может оказаться замаскированной. В таких случаях применяют предварительное нормирование суточных кривых, так что усреднению подвергаются не абсолютные значения амплитуды p , а относительные (p/M). Для некоторых показателей хронограмма исчисляется в долях (процентах) общего суточного объёма потребления или выделения некоторого субстрата (например, потребления кислорода или выделения калия с мочой).
- Хронограмма даёт достаточно наглядное представление о характере суточных кривых. Путём анализа хронограммы можно приблизительно определить фазу колебаний, абсолютную и относительную амплитуду, а также их доверительные интервалы.

Косинор - статистическая модель биоритмов, основанная на аппроксимации кривой колебаний физиологического показателя

гармонической функцией - косинор-анализа. Назначение косиноранализа - представление индивидуальных и массовых биоритмо-логических данных в

сопоставимой унифицированной и доступной для статистических оценок форме. Суточные косинор-параметры характеризуют выраженность биоритма, переходные процессы при его перестройке, наличие статистически значимого отличия одних групп от других.

- Косинор-анализ имеет очевидные преимущества по сравнению с методом хронограмм, поскольку он позволяет использовать для анализа структуры биоритмов корректные статистические методы.

- Косинор-анализ выполняют в два этапа:

- на первом этапе индивидуальные суточные кривые аппроксимируют гармонической (косинусоидой) функцией, в результате чего определяют основные параметры биоритма - среднесуточный уровень, амплитуду и акрофазу;

- на втором этапе производят векторное усреднение индивидуальных данных, определяют математическое ожидание и доверительные интервалы амплитуды и акрофазы суточных колебаний изучаемого показателя.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Приведите примеры временных параметров организма и его систем?
2. В чём сущность синхронизации работы различных систем организма?
3. Что такое биологический ритм? Какие он имеет характеристики?
4. Какие классификации биоритмов вы можете привести? В чём принципиальное отличие разных типов биоритмов?
5. Назовите механизмы ритмогенеза.
6. Какие ритмы психической активности вы знаете?
7. Что происходит при устранении или изменении времязадавателей?
8. Какие типы перемещений вы знаете?
9. Назовите методы статистического анализа в хронобиологии.
10. В чём принципиальное отличие косинор-анализа?

ГЛАВА 5. СИСТЕМА КРОВИ В РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В главе рассмотрено состояние крови при разной физической активности, недостатке и избытке кислорода, воздействии холода, высоких температур, ионизирующей радиации, гравитационных перегрузок и невесомости.

ПОВЫШЕННАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Тренированность - состояние высокой работоспособности, которое достигается в результате высокой и постоянной физической активности. В крови в ходе развития тренированности к высокой физической активности наблюдаются количественные и качественные изменения всех форменных элементов. У человека в состоянии тренированности особенно выражены адаптивные изменения, направленные на оптимизацию кислородного режима, а именно:

- увеличение ОЦК при нормальных относительных показателях содержания гемоглобина и эритроцитов;
- увеличение общего содержания гемоглобина и эритроцитов при сохранении физиологических показателей гематокрита и вязкости крови;
- повышение интенсивности процессов разрушения и продукции эритроцитов. Одновременно наблюдаются активация тромбоцитопоэза и свёртывающей и противосвёртывающих систем, а также увеличение содержания белков плазмы и буферной ёмкости крови.

ПОНИЖЕННАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Гиподинамия (греч. *hypo* - внизу, снизу, под; *dinamikos* - относящийся к силе, сильный) подразумевает снижение силовых действий в результате малой двигательной активности, а гипокинезия (греч. *kinesis* - движение) - ограничение объёмов перемещений тела в пространстве и пониженную мышечную деятельность. Изменения красной крови при сниженной физической активности противоположны изменениям при гипердинамии.

- Снижение мышечной активности приводит к уменьшению ОЦК и содержания эритроцитов. Пребывание человека в условиях анти-ортостатической гипокинезии (постельного режима) сопровождается снижением объёма крови до 20% от исходного уровня (уменьшается и объём плазмы, и эритроцитарной массы). Уменьшение этих показателей при гиподинамии отражает общую относительную гипогидратацию организма.
- Снижение гематокритного числа, содержания ретикулоцитов.
- Угнетение эритропоэза идёт до определённого уровня, затем продукция эритроцитов устанавливается в соответствии с потребностями организма, что обеспечивает необходимый кислородный режим, но общая кислородная ёмкость крови при этом снижена.

- Снижение специфического и неспецифического иммунитета характерно как для гипердинамии, так и для гиподинамии.
- Снижение тромбоцитопоза, количества тромбоцитов и их функциональной активности характерно для лиц с гиподинамией.
- Изменение физико-химических свойств крови при гиподинамии происходит за счёт снижения общей буферной ёмкости крови. Концентрация белка в плазме, несмотря на уменьшение её объёма, остаётся постоянной.

ГИПОКСИЯ

Классический пример адаптации к гипоксии - подъём в горы. Адаптивные изменения системы крови в условиях высокогорья могут быть кратковременными, долговременными и естественными.

Кратковременная адаптация к гипоксии

Кратковременная адаптация человека к условиям высокогорья прежде всего проявляется интенсификацией кислород-транспортной функции крови (рис. 5-1).

Эритроциты при кратковременной адаптации

На ранних этапах адаптации число эритроцитов и содержание гемоглобина увеличивается за счёт перераспределения крови (относительный эритроцитоз), в последующем усиливается кроветворение. В первые дни пребывания в горах, особенно после интенсивной мышечной деятельности, количество эритроцитов и гемоглобина в крови может умеренно снижаться, что связано с повышенным разрушением эритроцитов.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 5-1. Адаптивные изменения в системе крови (ОЦК - объём циркулирующей крови)

Усиленный гемопоэз приобретает устойчивый характер спустя примерно 3 недели, а масса циркулирующих эритроцитов (на высоте 3200 м) достигает наибольшего уровня на 40-й день адаптации. При этом возрастает ОЦК. При кратковременной адаптации к высокогорью на высотах до 3000 м происходит преимущественное увеличение количества гемоглобина, тогда как на больших высотах (3600 м и более) проявляется выраженное нарастание числа эритроцитов. Ускоренный эритропоэз и эритроцитоз при этом сопровождаются изменениями структуры эритроцитов и кислород-транспортных свойств гемоглобина.

- Макроцитоз эритроцитов с уплощением кривой распределения диаметра клеток.
- Активация перекисного окисления липидов (ПОЛ) в мембранах эритроцитов. Увеличение реакций ПОЛ в свою очередь ускоряет деградацию мембран эритроцитов.

- Снижение средней продолжительности жизни красных клеток стимулирует эритропоэз за счёт повышенного синтеза эритропоэтина.
- Увеличенная и ускоренная продукция эритроцитов в костном мозге сопровождается снижением доли эффективного и повышением доли неэффективного эритропоэза.
- Накопление 2,3-дигидрофосфоглицерата в эритроцитах снижает сродство гемоглобина к кислороду, облегчая его отдачу тканям.
- Поддержание равновесия между распадом и продукцией эритроцитов на новом, более высоком уровне при экзогенной кислородной недостаточности достигается путём увеличения метаболических запросов; в частности, увеличивается потребление аминокислот, жирных кислот, витаминов, железа и микроэлементов. В связи с этим в условиях высокогорья чаще возникают железодефицитные состояния и гиповитаминозы.

Лейкоциты при кратковременной адаптации. В процессе адаптации к гипоксии система белой крови изменяется менее заметно.

- В первые дни происходит увеличение количества нейтрофильных лейкоцитов, но снижается содержание эозинофилов, моноцитов и лимфоцитов.
- В первые две недели (вследствие иммунодепрессивного эффекта глюкокортикоидов) ухудшаются функции Т- и В-лимфоцитов, но через 3-4 недели функции Т- и В-лимфоцитов восстанавливаются до исходного уровня. При этом наблюдается выраженное повышение уровня IgA, IgG и IgM. В ходе адаптации возможно появление аутоантител.

Гемостаз при кратковременной адаптации. При кратковременной адаптации к высокогорью активируется тромбоцитопоэз и наблюдается повышенная свёртываемость крови. Одновременно активируется противосвёртывающая система, в частности, фибринолиз

(рис. 5-2).

string language="ru">string language="ru">

20-й день 30-й день 40-й день

Рис. 5-2. Реакции свёртывания крови в процессе адаптации к высокогорью: 1 - время рекальцификации, 2 - протромбиновый индекс, 3 - толерантность плазмы к гепарину, 4 - свободный гепарин, 5 - фибриноген, 6 - фибринолитическая активность (выход показателей за пределы круга - повышение свёртывающего потенциала, сдвиг в обратном направлении - понижение).

Физико-химические свойства крови при кратковременной адаптации. Происходит снижение напряжения CO_2 в артериальной крови (гипокапния), что вызывает сдвиг рН крови в сторону ощелачивания (алкалоза). По мере увеличения высоты над уровнем моря наблюдается

снижение щелочного резерва в результате увеличенного выделения CO_2 лёгкими, а также повышенной экскреции бикарбонатов через почки.

Длительная адаптация к гипоксии

Длительная (более двух лет) адаптация к высокогорью характеризуется стабилизацией показателей крови на новом уровне.

- Эритроциты. Происходит увеличение ОЦК, гематокрита, эритроцитарной массы (на высоте 3000 м на 10%, 4000 м - до $8 \times 10^{12}/\text{л}$), гемоглобина (от 155 до 174 г/л).
- Лейкоциты. После двух лет пребывания в горах количество моноцитов и лимфоцитов остаётся в пределах нормы, иногда может наблюдаться незначительный лимфоцитоз.
- Гемостаз. Тромбоцитопоз при длительной адаптации остаётся повышенным. В течение первого месяца на высоте 2500 м преобладают показатели антикоагулянтной, а спустя год - коагулянтной системы. На высотах 3600 м и более увеличивается фибринолиз, что характерно и для аборигенов.
- Физико-химические свойства крови. Происходит повышение концентрации белков плазмы и снижение альбумино-глобулинового коэффициента.

В целом можно констатировать, что у мигрантов с длительной высокогорной адаптацией усиливается гемопоэз (в основном эритро- и тромбоцитопоз), что отвечает потребностям организма в обеспечении эффективного и экономичного кислородного режима, а следовательно, ведёт к повышению работоспособности.

ГИПЕРОКСИЯ

В природных условиях гипероксия не встречается, она создаётся человеком искусственно:

- для предупреждения гипоксии;
 - десатурации организма от азота;
 - в медицинской практике для лечения всевозможных гипоксических состояний и проведения специализированных хирургических вмешательств.
- Различают нормобарическую

(давление 760 мм рт.ст.), гипербарическую и гипобарическую гипероксии. Изменения крови при гипероксии зависят от напряжения O_2 и длительности гипероксии. Нормобарическая гипероксия. Первой реакцией является депонирование крови в паренхиматозных органах и уменьшение ОЦК и снижение осмотической резистентности эритроцитов (средний объём эритроцитов увеличивается). При нарастании напряжения O_2 нарушается диссоциация оксигемоглобина, поэтому в венозной крови снижается

содержание восстановленного гемоглобина, а транспорт CO_2 затруднён (за счёт этого в тканях увеличивается pCO_2).

Гипербарическая оксигенация (давление вдыхаемого кислорода 3 атм). Напряжение O_2 в артериальной крови повышается до 1100-1400 мм рт.ст. (исходное 90-95 мм рт.ст.). При этом количество растворённого O_2 достигает 6 объёмных % (норма 0,3 объёмных %), что соответствует нормальному потреблению O_2 организмом в покое, т.е. без участия гемоглобина кислородная ёмкость крови вполне достаточна для поддержания жизни (феномен «жизнь без крови»). На этом основана терапевтическая ценность гипербарической оксигенации. Использование режима оксигенации при 2-3 атм с экспозицией 1-2 ч практически исключает развитие патологических явлений в организме.

Кислородное отравление. С увеличением в крови и удлинением экспозиции в гипероксической газовой среде развивается токсический эффект кислорода, т.е. кислородное отравление. При pO_2 более 3 атм симптомы кислородного отравления могут развиваться через несколько минут. При этом возникает избыток активных форм O_2 , которые активируют реакции перекисного окисления липидов, подавляется тканевое дыхание, нарушается структура клеточных мембран и значительно увеличивается распад эритроцитов. Токсический эффект кислорода прекращается с нормализацией режима дыхания.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ХОЛОДА

Крайний и Ближний Север, Арктика и Антарктика - те обширные регионы, где человек постоянно сталкивается с низкими температурами. У жителей Севера происходят характерные адаптивные изменения системы крови, в первую очередь эритроцитов и гемоглобина. Эритропоэз у адаптированных жителей Севера, включая аборигенов, значительно усилен. Интенсификация эритропоэза у северян соче-

тается с увеличенным распадом и снижением продолжительности жизни эритроцитов.

- Содержание гемоглобина и число эритроцитов находятся в пределах физиологической нормы, но возможны заметные колебания, зависящие от сезона года, суровости климата и других экологических факторов.
- У аборигенов Севера содержание гемоглобина и число эритроцитов в летне-осенний период количественно превышают показатели некоренных жителей Севера, а также жителей средних широт.
- Происходит увеличение гематокритного числа, среднего объёма эритроцита, снижение средней концентрации гемоглобина в отдельном эритроците. С продвижением на север эти изменения более выражены.
- Показатели гранулоцитов, лимфоцитов и макрофагов в процессе адаптации у мигрантов могут снижаться, что способствует ухудшению гуморального и

клеточного иммунитета. У аборигенов иммунологическая реактивность находится в пределах физиологической нормы.

- У северян наблюдаются тромбоцитоз, активация функций тромбоцитов, свёртывающей и противосвёртывающей систем крови.

ВЫСОКАЯ ТЕМПЕРАТУРА

Кровь, как и любая другая коллоидная система, чувствительна к воздействию высоких температур. Влияние высокой температуры на организм человека определяется интенсивностью, продолжительностью и степенью выраженности адаптивных реакций организма на перегревание.

Морфофункциональное состояние крови при этом во многом зависит от потерь воды организмом. При повышенных потерях воды под действием высоких температур увеличивается вязкость крови, возрастает количество эритроцитов и содержание гемоглобина.

- У рабочих горячих цехов отмечают:
 - увеличение числа эритроцитов, лейкоцитов;
 - изменение лейкоцитарной формулы (уменьшение количества эозинофилов, увеличение количества нейтрофилов, резко выраженный лимфоцитоз).
- В состоянии адаптированности в конце рабочего дня лишь у некоторой части работающих отмечается незначительное увеличение количества эритроцитов.
- У спортсменов физическая тренировка в условиях высоких температур приводит:
 - к увеличению объёма форменных элементов крови на 14-15%, гематокрита на 14-16%;
 - к развитию относительного лейкоцитоза.
- У спортсменов высокого класса интенсивная мышечная нагрузка в условиях высокой температуры вызывает относительно меньшие сдвиги, чем у малотренированных лиц.
- Перемещение людей из средних широт умеренного климата в условия жаркого (аридного) климата приводит к значительным изменениям физиологических параметров крови в связи с большой потерей воды и изменениями водно-солевого равновесия.

В отличие от реакций на кратковременное воздействие высокой температуры среды, особый интерес представляют генетически закреплённые физиологические реакции обитателей юмидных (тропических) зон.

- Количество эритроцитов и содержание гемоглобина, а также количество лейкоцитов ниже европейской нормы. Кровь американских или западноафриканских негров содержит меньше гемоглобина и эритроцитов, что не связано с плохим питанием. В субтропическом и тропическом климате

у здоровых лиц коренных национальностей также наблюдают относительно низкое содержание гемоглобина и эритроцитов.

- ОЦК остаётся нормальным или немного повышен за счёт плазмы. В летний период у жителей Ташкента ОЦК составляет 83,0 мл/кг, а в зимний - 79,0 мл/кг.

Красная кровь при адаптации к действию высоких температур

- У европейцев, адаптированных к аридным и юмидным зонам, а также у рабочих горячих цехов, многие годы подвергавшихся тепловым воздействиям, возникают существенные изменения в эритроцитоне:
 - нарастает гемоглобинизация и гидратация отдельного эритроцита;
 - снижается содержание гемоглобина в крови;
 - уровень эритроцитов удерживается на значениях нижней границы европейской нормы;
 - уровень эритропоэтина в крови снижается, а регенерация красной крови замедляется.
- У аборигенов тропиков и субтропиков:
 - увеличен объём плазмы крови;
 - снижено количество эритроцитов и гемоглобина;
 - биомембраны эритроцитов содержат повышенное количество насыщенных жирных кислот;
 - ингибирование эритропоэза обеспечивается снижением основного обмена, низким содержанием эритропоэтина и пониженным кислородным запросом тканей. Для жителей стран с жарким климатом характерно широкое распространение как скрытого, так и явного дефицита железа в организме, что сказывается на синтезе гемоглобина.

Лейкоциты при адаптации к действию высоких температур. У здоровых аборигенов жарких стран, в отличие от жителей средних широт, наблюдается выраженная лейкопения с относительным или абсолютным лимфоцитозом. Гемостаз при адаптации к действию высоких температур. Показатели гемостаза и фибринолиза у жителей аридных и юмидных зон имеют отчётливые различия по сравнению с жителями средних широт с умеренным климатом:

- у жителей тропиков содержание тромбоцитов понижено (содержание тромбоцитов в 1 мкл крови у аборигенов Сенегала и Нигерии достигает 100-200 тыс./мкл, а у живущих там европейцев - 200-320 тыс./мкл);
- активность свёртывающей системы крови у африканцев ниже, чем у европейцев;

- активность фибринолитической системы у африканцев, напротив, выше, чем у европейцев.

ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Хроническое облучение так называемыми малыми дозами (в том числе пороговыми) приводит к изменению длительности периодов и всего генерационного цикла эритроидных и миелоидных клеток костного мозга. При воздействии ионизирующего облучения возникает значительное количество активных радикалов кислорода. Активные радикалы кислорода в значительной степени активируют перекисное окисление липидов. Накопление гидроперекисей липидов приводит к повышенному распаду клеток крови. При длительном облучении организма малыми дозами уменьшается число молодых форм эритроидных элементов, а также сокращается продолжительность жизни эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов, уменьшение их

количества в периферической крови и ослабление функциональной активности всех форменных элементов крови.

Никаких пороговых доз в отношении проникающей радиации не существует. Речь может идти только о сложившейся практике оценки в статистическом контексте (А.Д. Сахаров). Непонимание этого обстоятельства, к сожалению, широко распространено.

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ПЕРЕГРУЗКИ

Гравитационные перегрузки (продольные и поперечные), с которыми сталкивается человек в авиакосмической деятельности, оказывают значительное воздействие на систему крови:

- происходит выраженное перераспределение крови в организме по вектору действия перегрузок;
- эритроциты подвергаются повышенному механическому и осмотическому гемолизу;
- средняя продолжительность жизни эритроцита сокращается, а интенсивность эритропоэза увеличивается.

НЕВЕСОМОСТЬ

В условиях невесомости организм, лишённый привычных воздействий сил гравитации, перестраивает свою систему кроветворения. Степень адаптивных изменений определяется длительностью нахождения в условиях невесомости:

- минимальные сдвиги отмечены после кратковременных (несколько суток) полётов;

- космические полёты продолжительностью 16-18 суток сопровождались наиболее выраженными изменениями - повышением содержания всех глобулиновых фракций.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что лежит в основе адаптивных изменений в системе крови при повышенной двигательной активности?
2. Какие изменения в системе гемостаза наблюдаются при повышенной двигательной активности?
3. Какие изменения в системе крови наблюдаются при пониженной двигательной активности?
4. Чем определяется степень адаптивных изменений в системе крови при адаптации к высокогорью?
5. Назовите виды гипероксии и ситуации её применения.
6. В чём заключается механизм токсического действия кислорода?
7. Какие морфофункциональные особенности системы крови наблюдаются при адаптации к холоду?
8. Чем определяется степень изменений в системе крови при адаптации к высокой температуре?
9. Какой общий механизм лежит в основе токсического действия кислорода и ионизирующего излучения?
10. В чём заключается охранительная роль белка р53 при повреждающем действии ионизирующего излучения?
11. Что происходит с системой крови при гравитационных перегрузках?

ГЛАВА 6. СИСТЕМА КРОВООБРАЩЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В главе рассмотрено кровообращение при различном уровне физической активности, недостатке и избытке кислорода, низких и высоких температурах внешней среды, изменении гравитации.

ФИЗИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Работа может быть динамической, когда происходит преодоление сопротивления на определённом расстоянии, и статической - при изометрическом мышечном сокращении.

Динамическая работа

Физическое напряжение вызывает немедленные реакции различных функциональных систем, включая мышечную, сердечно-сосудистую и дыхательную. Выраженность этих реакций определяется адаптированностью организма к физическим нагрузкам и степенью тяжести выполняемой работы.

Частота сердечных сокращений. По характеру изменения ЧСС можно выделить две формы работы: лёгкая, неустойчивая работа - с достижением стационарного состояния - и тяжёлая, вызывающая утомление работа (рис. 6-1).

Даже после завершения работы ЧСС изменяется в зависимости от имевшего место напряжения. После лёгкой работы ЧСС возвращается к первоначальному уровню в течение 3-5 мин; после тяжёлой работы период восстановления значительно дольше - при чрезвычайно тяжёлых нагрузках он достигает нескольких часов.

При тяжёлой работе кровоток и обмен веществ в работающей мышце увеличивается более чем в 20 раз. Степень изменений показателей кардио- и гемодинамики при мышечной деятельности зависит от её мощности и физической подготовленности (адаптированности) организма (табл. 6-1).

string language="ru">string language="ru">

Рис. 6-1. Изменение частоты сердечных сокращений у лиц со средней работоспособностью при лёгкой и тяжёлой динамической работе постоянной интенсивности

У лиц, тренированных к физическим нагрузкам, происходит гипертрофия миокарда, увеличивается плотность капилляров и сократительные характеристики миокарда.

- Сердце увеличивается в размерах за счёт гипертрофии кардиомиоцитов. Вес сердца у высококвалифицированных спортсменов увеличивается до 500 г

(рис. 6-2), в миокарде повышается концентрация миоглобина, полости сердца увеличиваются.

- Плотность капилляров на единицу площади в тренированном сердце существенно увеличивается. Коронарный кровоток и обменные процессы возрастают в соответствии с работой сердца.
- Сократимость миокарда (максимальная скорость прироста давления и фракции выброса) заметно повышается у спортсменов благодаря положительному инотропному действию симпатических нервов.

Таблица 6-1. Изменения физиологических показателей при динамической работе разной мощности у людей, не занимающихся спортом (верхняя строка) и у тренированных спортсменов (нижняя строка)

Характер работы	Лёгкая	Средняя	Субмаксимальная	Максимальная
Мощность работы, Вт	<50	50-100	100-150	150-250
	100-150	150-200	200-350	350-500 и >
ЧСС, уд./мин	120-140	140-160	160-170	170-190
	90-120	120-140	140-180	180-210
Систолический объём крови, л/мин	80-100	100-120	120-130	130-150
	80-100	100-140	140-170	170-200
Минутный объём крови, л/мин	10-12	12-15	15-20	20-25
	8-10	10-15	15-30	30-40
Среднее АД, мм рт.ст.	85-95	95-100	100-130	130-150
	85-95	95-100	100-150	150-170
Потребление кислорода, л/мин	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0
	0,8-1,0	1,0-2,5	2,5-4,5	4,5-6,5
Лактат крови, мг в 100 мл	20-30	30-40	40-60	60-100
	10-20	20-50	50-150	150-300

- При физической нагрузке сердечный выброс увеличивается вследствие повышения ЧСС и ударного объёма, причём изменения этих величин сугубо индивидуальны. У здоровых молодых людей (за исключением высокотренированных спортсменов) сердечный выброс редко превышает 25 л/мин.

Регионарный кровоток. При физических нагрузках значительно изменяется регионарный кровоток (табл. 6-2). Усиление кровотока в работающих мышцах связано не только с увеличением сердечного выброса и АД, но и с перераспределением ОЦК. При максимальной динамической работе кровоток в мышцах возрастает в 18-20 раз, в венечных сосудах сердца в 4-5 раз, но уменьшается в почках, органах брюшной полости.

- У спортсменов закономерно возрастает конечно-диастолический объём сердца (в 3-4 раза больше, чем ударный объём). У обычного человека этот показатель лишь в 2 раза больше.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 6-2. Нормальное сердце и сердце спортсмена. Увеличение размеров сердца связано с удлинением и утолщением отдельных клеток миокарда. В сердце взрослого человека на каждую мышечную клетку приходится примерно один капилляр

Таблица 6-2. Сердечный выброс и органный кровоток у человека в покое и при физической нагрузке различной интенсивности

Поглощение O ₂ , мл/(мин*м ²)	Физическая нагрузка			
	Покой	Лёгкая	Средняя	Максимальная
	140	400	1200	2000
Область	Кровоток, мл/мин			
	Покой	Лёгкая	Средняя	Максимальная
Скелетные мышцы	1200	4500	12 500	22 000
Сердце	250	350	750	1000
Головной мозг	750	750	750	750
Чревная	1400	1100	600	300
Почечная	1100	900	600	250
Кожа	500	1500	1900	600
Прочие органы	600	400	400	100
Сердечный выброс	5800	9500	17 500	25 000

- При мышечной деятельности возрастает возбудимость миокарда, изменяется биоэлектрическая активность сердца, что сопровождается укорочением интервалов PQ, QT электрокардиограммы. Чем больше мощность работы и ниже уровень физической подготовки организма, тем больше изменяются показатели электрокардиограммы.
- При учащении сердечных сокращений до 200 в минуту длительность диастолы уменьшается до 0,10-0,11 с, т.е. более чем в 5 раз по отношению к данной величине в покое. Наполнение желудочков при этом происходит в течение 0,05-0,08 с.

Артериальное давление у человека при мышечной деятельности значительно увеличивается. При беге, вызывающем учащение сокращений сердца до 170-180 в минуту, возрастает:

- систолическое давление в среднем со 130 до 250 мм рт.ст.;
- среднее давление - с 99 до 167 мм рт.ст.;
- диастолическое - с 78 до 100 мм рт.ст.

- При интенсивной и длительной мышечной деятельности увеличивается жёсткость магистральных артерий за счёт усиления эластического каркаса и повышения тонуса гладких мышечных волокон. В артериях мышечного типа можно наблюдать умеренную гипертрофию мышечных волокон.
- Давление в центральных венах при мышечной деятельности, так же как и центральный объём крови, возрастает. Это обусловлено повышением венозного возврата крови при увеличении тонуса стенок вен. Работающие мышцы выполняют роль дополнительного насоса, который обозначается как «мышечный насос», обеспечивающий повышенный (адекватный) приток крови к правому сердцу.
- Общее периферическое сопротивление сосудов при динамической работе может снижаться в 3-4 раза по сравнению с исходным, нерабочим состоянием.

Потребление кислорода возрастает на величину, которая зависит от нагрузки и эффективности затрачиваемых усилий.

- При лёгкой работе достигается стационарное состояние, когда потребление кислорода и его утилизация эквивалентны, но это происходит лишь по прошествии 3-5 мин, в течение которых кровотока и обмен веществ в мышце приспособляются к новым требованиям. До тех пор, пока не будет достигнуто стационарное состояние, мышца зависит от небольшого *кислородного резерва*,

который обеспечивается O_2 , связанным с миоглобином, и от способности извлекать кислород из крови.

- При тяжёлой мышечной работе, даже если она выполняется с постоянным усилием, стационарное состояние не наступает; как и ЧСС, потребление кислорода постоянно повышается, достигая максимума.

Кислородный долг. С началом работы потребность в энергии увеличивается мгновенно, но для приспособления кровотока и аэробного обмена требуется некоторое время; таким образом, возникает кислородный долг:

- при лёгкой работе величина кислородного долга остаётся постоянной после достижения стационарного состояния;
- при тяжёлой работе она нарастает до самого окончания работы;
- по окончании работы, особенно в первые минуты, скорость потребления кислорода остаётся выше уровня покоя - происходит «выплата» кислородного долга.

Мера физического напряжения. По мере увеличения интенсивности динамической работы ЧСС увеличивается, а скорость потребления кислорода возрастает; чем больше нагрузка на организм, тем значительнее это увеличение по сравнению с уровнем в покое. Таким образом, ЧСС и потребление кислорода служат мерой физического напряжения.

В конечном итоге адаптация организма к действию высоких физических нагрузок приводит к увеличению мощности и функциональных резервов сердечно-сосудистой системы, поскольку именно она лимитирует длительность и интенсивность динамической нагрузки.

ГИПОДИНАМИЯ

Освобождение человека от физического труда ведёт к физической детренированности организма, в частности - к изменению кровообращения. В такой ситуации можно было бы ожидать повышения экономичности и снижения напряжённости функций сердечно-сосудистой системы. Однако этого не происходит - экономичность, мощность и эффективность кровообращения снижаются.

- В большом круге кровообращения чаще наблюдают снижение систолического, среднего и пульсового АД. В малом круге кровообращения, когда гипокинезия сочетается с уменьшением гидростатического давления крови (постельный режим, невесо-

мость) повышается приток крови к лёгким, возрастает давление в лёгочной артерии.

- В условиях покоя при гипокинезии:
 - ЧСС закономерно возрастает;
 - сердечный выброс и ОЦК уменьшаются;
 - при длительном постельном режиме заметно уменьшаются размеры сердца, объёмы его полостей, а также масса мио- карда.

- Переход от гипокинезии к режиму обычной активности вызывает:

- выраженное увеличение ЧСС;
- увеличение минутного объёма кровотока - МОК;
- снижение суммарного периферического сопротивления.

- При переходе к напряжённой мышечной работе снижаются функциональные резервы сердечно-сосудистой системы:

- в ответ на мышечную нагрузку даже слабой интенсивности быстро возрастает ЧСС;
- сдвиги кровообращения достигаются за счёт включения менее экономичных его компонентов;
- МОК при этом растёт в основном за счёт возрастания ЧСС.

- В условиях гипокинезии изменяется фазовая структура сердечного цикла:
 - сокращается фаза изгнания крови и механической систолы;

- увеличивается длительность фазы напряжения, изометрического сокращения и расслабления миокарда;
- снижается начальная скорость повышения внутрижелудочкового давления.

Гиподинамия миокарда. Всё вышесказанное свидетельствует о развитии фазового синдрома «гиподинамии» миокарда. Этот синдром, как правило, наблюдается у здорового человека на фоне сниженного возврата крови к сердцу при лёгких физических нагрузках.

Изменения ЭКГ. При гипокинезии изменяются показатели электрокардиограммы, которые выражаются в позиционных изменениях, относительном замедлении проводимости, уменьшении зубцов Р и Т, изменении соотношения величин Т в различных отведениях, периодическом смещении сегмента S-T, изменении процесса реполяризации.

Гипокинезические изменения электрокардиограммы, вне зависимости от картины и степени выраженности, всегда обратимы.

Изменения в сосудистой системе. При гипокинезии развивается устойчивая адаптация сосудистой системы и регионарного кровотока к этим условиям (табл. 6-3).

Таблица 6-3. Основные показатели сердечно-сосудистой системы у человека в условиях гипокинезии

Параметры	Длительная гипокинезия
Частота сердечных сокращений	Увеличена
Артериальное давление:	Лабильное, чаще снижено
систолическое	понижено
диастолическое	нормальное или повышено
пульсовое	понижено
Систолический объём	Уменьшен или нормальный
Минутный объём крови	Уменьшен
Периферическое сопротивление сосудов	Понижено
ОЦК	Уменьшен
Объём эритроцитарной массы	Уменьшен
Объём плазмы	Уменьшен
Площадь обменной поверхности капилляров	Уменьшена
Масса сердца	Уменьшена
Венозный возврат крови к сердцу	Понижен
Максимальное потребление кислорода	Понижено

Изменения регуляции кровообращения. При гипокинезии признаки преобладания симпатических влияний над парасимпатическими изменяют систему регуляции деятельности сердца:

- высокая активность гормонального звена симпатoadреналовой системы свидетельствует о высокой стрессогенности гипокинезии;

- повышенная экскреция катехоламинов с мочой и низкое их содержание в тканях реализуется нарушением гормональной регуляции деятельности клеточных мембран, в частности, кардиомиоцитов.

Таким образом, снижение функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы при гипокинезии определяется продолжительностью последней и степенью ограничения подвижности.

КРОВООБРАЩЕНИЕ ПРИ КИСЛОРОДНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

С увеличением высоты атмосферное давление падает, и парциальное давление кислорода (PO_2) уменьшается пропорционально снижению атмосферного давления. Реакция организма (в первую очередь органов дыхания, кровообращения и крови) на кислородную недостаточность зависит от её выраженности и продолжительности.

Для кратковременных реакций в условиях высокогорья требуется лишь несколько часов, для первичной адаптации - несколько дней и даже месяцев, а стадия стабильной адаптированности мигрантов приобретает годами. Наиболее эффективно адаптивные реакции проявляются у коренного населения высокогорных районов вследствие долговременной естественной адаптации.

Начальный период адаптации

Передвижение человека (миграция) с равнинной местности в горы сопровождается выраженным изменением гемодинамики большого и малого круга кровообращения.

- Развивается тахикардия и увеличивается минутный объём кровотока (МОК). ЧСС на высоте 6000 м у вновь прибывших в условиях покоя достигает 120 в минуту. Физическая нагрузка вызывает более выраженную тахикардию и увеличение МОК, чем на уровне моря.
- Ударный объём меняется незначительно (может наблюдаться как увеличение, так и снижение), но увеличивается линейная скорость кровотока.
- Системное АД в первые дни пребывания на высотах несколько повышается. Подъём систолического АД вызван в основном приростом МОК, а диастолического - ростом периферического сосудистого сопротивления.
- ОЦК увеличивается вследствие мобилизации крови из депо.
- Возбуждение симпатической нервной системы реализуется не только тахикардией, но и парадоксальной дилатацией вен большого круга кровообращения, что приводит на высотах 3200 и 3600 м к снижению венозного давления.
- Происходит перераспределение регионарного кровотока.

- Кровоснабжение головного мозга возрастает за счёт редукции кровотока в сосудах кожи, скелетных мышц и пищеварительного тракта. Головной мозг один из первых реагирует

на кислородную недостаточность. Это объясняется особой чувствительностью коры больших полушарий к гипоксии вследствие использования значительного количества O_2 на метаболические нужды (мозг весом 1400 г потребляет около 20% кислорода, потребляемого организмом).

- В первые дни высокогорной адаптации снижается кровоток в миокарде.

- Объём крови в лёгких заметно увеличивается. Первичная высокогорная артериальная гипертензия - увеличение АД в сосудах лёгких. В основе заболевания находится повышение тонуса мелких артерий и артериол в ответ на гипоксию, обычно лёгочная гипертензия начинает развиваться на высоте 1600-2000 м над уровнем моря, её величина прямо пропорциональна высоте и сохраняется в течение всего срока пребывания в горах.

- Повышение лёгочного АД при подъёме на высоту возникает сразу, достигая своего максимума через сутки. На 10-й и 30-й дни лёгочное АД постепенно снижается, но не достигает исходного уровня.
- Физиологическая роль лёгочной гипертензии заключается в увеличении объёмной перфузии лёгочных капилляров за счёт включения в газообмен структурных и функциональных резервов органов дыхания.
- Вдыхание чистого кислорода или газовой смеси, обогащённой кислородом, на большой высоте приводит к снижению АД в малом круге кровообращения.

Лёгочная гипертензия в совокупности с приростом МОК и центрального объёма крови предъявляют к правому желудочку сердца повышенные требования. На больших высотах при срыве адаптивных реакций может развиваться горная болезнь или острый отёк лёгких.

Высотные пороги эффектов

Эффект кислородной недостаточности в зависимости от высоты и степени экстремальности местности можно подразделить на четыре зоны (рис. 6-3), отграниченные друг от друга эффективными порогами (Ruf S., Strughold H., 1957).

Нейтральная зона. До высоты 2000 м способность к физической и умственной деятельности страдает мало или вовсе не изменяется.

Зона полной компенсации. На высотах между 2000 и 4000 м даже в покое возрастают ЧСС, сердечный выброс и МОД. Увеличение этих показателей во время работы на таких высотах происходит в большей

степени, чем на уровне моря, так что и физическая, и умственная работоспособность значительно снижаются.

Зона неполной компенсации (зона опасности). На высотах от 4000 до 7000 м у неадаптированного человека развиваются различные расстройства. По достижении порога нарушений (предел безопасности) на высоте 4000 м сильно падает физическая работоспособность, а также ослабевает способность к реакции и принятию решений. Возникают мышечные подёргивания, снижается АД, постепенно затуманивается сознание. Эти изменения обратимы.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 6-3. Влияние кислородной недостаточности при подъёме на высоту: числа слева - парциальное давление O_2 в альвеолярном воздухе на соответствующей высоте; цифры справа - содержание кислорода в газовых смесях, которое даёт тот же эффект на уровне моря

Критическая зона. Начиная с 7000 м и выше, в альвеолярном воздухе становится ниже критического порога - 30-35 мм рт.ст. (4,0-4,7 кПа). Наступают потенциально летальные расстройства ЦНС, сопровождающиеся бессознательным состоянием и судорогами. Эти нарушения могут быть обратимы при условии быстрого повышения во вдыхаемом воздухе. В критической зоне решающее значение имеет длительность кислородной недостаточности. Если гипоксия продолжается слишком долго, происходят нарушения в регулирующих звеньях ЦНС и наступает смерть.

Длительное пребывание в высокогорье

При длительном пребывании человека в условиях высокогорья на высотах до 5000 м происходят дальнейшие адаптивные изменения сердечно-сосудистой системы.

- ЧСС, ударный объём и МОК стабилизируются и снижаются до исходных величин и даже ниже.
- Развивается выраженная гипертрофия правых отделов сердца.
- Плотность кровеносных капилляров во всех органах и тканях возрастает.
- ОЦК остаётся увеличенным на 25-45% за счёт увеличения объёма плазмы и эритроцитарной массы. В условиях высокогорья усиливается эритропоэз, поэтому концентрация гемоглобина и количество эритроцитов увеличиваются.

Естественная адаптация горцев

Динамика основных гемодинамических показателей у аборигенов высокогорья (горцев) на высоте до 5000 м остаётся такой же, как у жителей низменности на уровне моря. Основное различие между «естественной» и «приобретённой» адаптацией к высокогорной гипоксии заключается в степени васкуляризации тканей, активности микроциркуляции и тканевого дыхания. У постоянных жителей высокогорья эти параметры более выражены. Несмотря на сниженный регионарный кровоток в головном мозге

и сердце у аборигенов высокогорья, минутное потребление кислорода этими органами остаётся таким же, как у жителей равнин на уровне моря.

КРОВООБРАЩЕНИЕ ПРИ ИЗБЫТКЕ КИСЛОРОДА

Длительное воздействие гипероксии приводит к развитию токсических эффектов кислорода и снижению надёжности приспособительных реакций сердечно-сосудистой системы. Избыток кислорода в тканях также ведёт к усилению перекисного окисления липидов (ПОЛ) и истощению эндогенных антиоксидантных резервов (в частности, жирорастворимых витаминов) и антиокислительной ферментативной системы. В связи с этим усиливаются процессы катаболизма и деэнергизации клеток.

- ЧСС уменьшается, возможно развитие аритмий.
- При кратковременной гипероксии ($1-3 \text{ кгХсек/см}^2$) электрокардиографические характеристики не выходят за пределы физиологической нормы, но при многочасовом воздействии гипероксии у некоторых испытуемых исчезает зубец Р, что свидетельствует о появлении атриовентрикулярного ритма.
- Кровоток в головном мозге, сердце, печени и других органах и тканях снижается на 12-20%. В лёгких кровотоков может снижаться, возрастать и возвращаться к исходному уровню.
- Системное АД меняется незначительно. Обычно повышается диастолическое давление. Сердечный выброс достоверно снижается, а общее периферическое сопротивление повышается. Скорость кровотока и ОЦК при дыхании гипероксической смесью существенно уменьшаются.
- Давление в правом желудочке сердца и лёгочной артерии при гипероксии чаще снижается.
- Брадикардия при гипероксии обусловлена преимущественно усилением вагусных влияний на сердце, а также прямого действия кислорода на миокард.
- Плотность функционирующих капилляров в тканях уменьшается.
- Сужение сосудов при гипероксии определяется или прямым действием кислорода на гладкие мышцы сосудов, или опосредованно - через изменение концентрации вазоактивных веществ.

Таким образом, если на острую и хроническую гипоксию организм человека отвечает сложным и достаточно эффективным комплексом приспособительных реакций, формирующих механизмы долговременной адаптации, то на действие острой и хронической гипероксии эффективных средств защиты организм не имеет.

КРОВООБРАЩЕНИЕ ПРИ НИЗКИХ ВНЕШНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Существует по меньшей мере четыре внешних фактора, оказывающих серьёзное влияние на кровообращение человека в условиях Крайнего Севера:

- резкие сезонные, меж- и внутрисуточные перепады атмосферного давления;
- холодовое воздействие;
- резкое изменение фотопериодичности (полярный день и полярная ночь);
- колебания магнитного поля Земли.

Комплекс климатоэкологических факторов высоких широт предъявляет жёсткие требования к сердечно-сосудистой системе. Адаптацию к условиям высоких широт подразделяют на три стадии:

- адаптивное напряжение (до 3-6 месяцев);
- стабилизация функций (до 3 лет);
- адаптированности (до 3-15 лет).

Первичная северная артериальная лёгочная гипертензия - наиболее характерная приспособительная реакция. Повышение АД в малом круге кровообращения возникает на уровне моря в условиях нормального барометрического давления и содержания O_2 в воздухе. В основе такой гипертензии находится повышенное сопротивление мелких артерий и артериол лёгких. Северная лёгочная гипертензия имеет повсеместное распространение среди приезжего и коренного населения приполярных районов и встречается в адаптивной и дезадаптивной формах.

- Адаптивная форма протекает бессимптомно, выравнивает вентиляционно-перфузионные отношения и оптимизирует кислородный режим организма. Систолическое давление в лёгочной артерии при гипертензии поднимается до 40 мм рт.ст., общее лёгочное сопротивление повышается незначительно.
- Дезадаптивная форма. Развивается скрытая дыхательная недостаточность - «полярная одышка», снижается работоспособность. Систолическое давление в лёгочной артерии достигает 65 мм рт.ст., а общее лёгочное сопротивление превышает $200 \text{ дин} \times \text{сек} \times \text{см}^{-5}$. При этом происходит расширение ствола лёгочной артерии, развивается выраженная гипертрофия правого желудочка сердца, одновременно снижаются ударный и минутный объёмы сердца.

КРОВООБРАЩЕНИЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Различают адаптацию в аридных и юмидных зонах.

Адаптация человека в аридных зонах

Аридные зоны характеризуются высокими температурами и низкой относительной влажностью воздуха. Температурные условия в этих зонах в жаркое время года и в дневные часы таковы, что поступление тепла в организм путём инсоляции и контакта с горячим воздухом может в 10 раз превысить теплообразование в организме в покое. Подобный тепловой стресс при отсутствии

эффективных механизмов теплоотдачи быстро приводит к перегреванию тела.

Тепловые состояния организма в условиях высоких внешних температур классифицируют как нормотермию, компенсированную гипертермию и некомпенсированную гипертермию.

Гипертермия - пограничное состояние организма, из которого возможен переход в нормотермию или летальный исход (тепловая гибель).

Критическая температура тела, при которой происходит тепловая гибель, у человека соответствует +42-43 °С.

Действие высокой температуры воздуха на человека, не адаптированного к жаре, вызывает нижеперечисленные изменения.

- Расширение периферических сосудов - основная реакция на тепло в аридных зонах. Расширение сосудов, в свою очередь, должно сопровождаться нарастанием ОЦК; если этого не происходит, то наступает падение системного АД.
- Объём циркулирующей крови (ОЦК) на первых этапах теплового воздействия возрастает. При гипертермии (вследствие испарительной теплоотдачи) ОЦК снижается, что влечёт за собой и снижение центрального венозного давления.
- Общее периферическое сопротивление сосудов. Вначале (первая фаза) уже при небольшом увеличении температуры тела снижается систолическое и диастолическое АД. Основной причиной снижения диастолического давления является уменьшение общего периферического сопротивления сосудов. Во время теплового стресса, когда температура тела повышается до +38 °С, общее периферическое сопротивление сосудов снижается на 40-55%. Это обусловлено дилатацией периферических сосудов, прежде всего - кожи. Дальнейшее повышение температуры тела (вторая фаза), напротив, может сопровождаться повышением общего периферического сопротивления сосудов и диастолического давления при выраженном снижении систолического давления.
- Частота сердечных сокращений (ЧСС) возрастает, особенно у малотренированных и плохо адаптированных людей. У человека в условиях покоя при высокой внешней температуре прирост числа сердечных сокращений может достигнуть 50-80%. У хорошо адаптированных людей тепло не вызывает учащения пульса до тех пор, пока тепловой стресс не станет слишком выраженным.
- Центральное венозное давление при повышении температуры тела возрастает, но тепловое воздействие может вызвать и противоположный эффект - транзиторное уменьшение центрального объёма крови и стойкое снижение давления в правом предсердии. Вариабельность показателей

центрального венозного давления обусловлена различием деятельности сердца и ОЦК.

- Минутный объём кровообращения (МОК) возрастает. Ударный объём сердца остаётся нормальным или незначительно снижается, что наблюдается чаще. Работа правого и левого желудочков сердца при воздействии высоких внешних температур (особенно при гипертермии) значительно увеличивается.
- Высокая внешняя температура, практически исключая у человека все пути теплоотдачи, кроме испарения пота, требует значительного усиления кожного кровотока. Рост кровотока в коже обеспечивается в основном увеличением МОК и в меньшей мере - его регионарным перераспределением: при тепловой нагрузке в условиях покоя у человека снижается кровоток в чревной области, почках и скелетной мускулатуре, что «освобождает» до 1 л крови/мин; остальную часть увеличенного кожного кровотока (до 6-7 л крови/мин) обеспечивает сердечный выброс.
- Интенсивное потоотделение в конечном итоге приводит к дегидратации организма, сгущению крови и уменьшению ОЦК. Это влечёт за собой дополнительную нагрузку на сердце.

Адаптация мигрантов в аридных зонах. У вновь прибывших мигрантов в аридных зонах Средней Азии при выполнении тяжёлой физической работы гипертермия возникает в 3-4 раза чаще, чем у коренных жителей. К концу первого месяца пребывания в этих условиях показатели теплообмена и гемодинамики у мигрантов улучшаются и приближаются к показателям местных жителей. К концу летнего сезона происходит относительная стабилизация функций сердечно-сосудистой системы. Начиная со второго года, показатели гемодинамики у переселенцев почти не отличаются от показателей местных жителей.

Аборигены аридных зон. У аборигенов аридных зон наблюдаются сезонные колебания показателей гемодинамики, но в меньшей степени, чем у мигрантов. Кожные покровы у коренных жителей обильно васкуляризированы, имеют развитые венозные сплетения, в которых кровь движется в 5-20 раз медленнее, чем в магистральных венах.

Слизистая оболочка верхних дыхательных путей также обильно васкуляризирована.

Адаптация человека в юмидных зонах

Адаптация человека в юмидных зонах (тропиках), где - кроме повышенных температур - высока относительная влажность воздуха, протекает сходно с аридными зонами. Для тропиков характерно значительное напряжение водного и электролитного баланса. У постоянных жителей влажных тропиков разница между температурой «ядра» и «оболочки» тела, кистей и стоп больше, чем у мигрантов из Европы, что способствует лучшему выведению тепла из организма. Кроме того, у аборигенов влажных тропиков

механизмы выделения тепла с потом совершеннее, чем у приезжих. У аборигенов в ответ на температуру, превышающую $+27^{\circ}\text{C}$, потоотделение начинается быстрее и интенсивнее, чем у мигрантов из других климатогеографических регионов. Например, у австралийских аборигенов количество пота, испаряемое с поверхности тела, вдвое превышает показатели у европейцев, находящихся в идентичных условиях.

КРОВООБРАЩЕНИЕ ПРИ ИЗМЕНЁННОЙ ГРАВИТАЦИИ

Гравитационный фактор оказывает постоянное воздействие на кровообращение, особенно на области низкого давления, формируя гидростатический компонент артериального давления. В связи с невысоким давлением в малом круге кровообращения, кровоток в лёгких в значительной степени зависит от гидростатического давления, т.е. гравитационного эффекта крови.

Модель гравитационного распределения лёгочного кровотока представлена на рис. 6-4. У взрослого человека в вертикальном положении верхушки лёгких расположены примерно на 15 см выше основания лёгочной артерии, поэтому гидростатическое давление в верхних отделах лёгких примерно равно артериальному. В связи с этим капилляры этих отделов перфузируются незначительно либо вовсе не перфузируются. В нижних отделах лёгких, напротив, гидростатическое давление складывается с артериальным, что приводит к дополнительному растяжению сосудов и их полнокровию. Указанные особенности гемодинамики малого круга сопровождаются значительной неравномерностью кровотока в различных отделах лёгких. Эта неравномерность значительно зависит от положения тела и отражается на показателях регионарного насыщения

string language="ru">string language="ru">

Рис. 6-4. Модель, связывающая неравномерность распределения лёгочного кровотока при вертикальном положении тела человека с величиной давления, действующего на капилляры: в зоне 1 (верхушка) альвеолярное давление (P_A) превышает давление в артериолах (P_a), и кровоток ограничен. В зоне 2, где $P_a > P_A$, кровоток больше, чем в зоне 1. В зоне 3 кровоток усилен и определяется разностью давления в артериолах (P_a) и давления в венах (P_v). В центре схемы лёгкого - лёгочные капилляры; вертикальные трубочки по сторонам лёгкого - манометры

крови кислородом. Однако, несмотря на эти особенности, у здорового человека насыщение крови лёгочных вен кислородом составляет 96-98%.

С развитием авиации, ракетной техники и выходом человека в космос изменения системной гемодинамики в условиях гравитационных перегрузок и невесомости приобретают большое значение. Изменения гемодинамики определяются типом гравитационных нагрузок: продольных (положительных и отрицательных) и поперечных.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие виды работы можно выделить по изменениям ЧСС?
2. Какие изменения миокарда и регионарного кровообращения наблюдаются при физических нагрузках?
3. При помощи каких механизмов осуществляется регуляция кровообращения при физических нагрузках?
4. Как изменяется потребление кислорода при физических нагрузках?
5. Какие изменения происходят в системе кровообращения при гипокинезии?
6. Назовите виды гипоксии в зависимости от длительности действия.
7. Какие изменения в системе кровообращения наблюдаются при адаптации к высокогорью?
8. В чём заключается физиологическая роль первичной высотной артериальной лёгочной гипертензии?
9. Чем опасно длительное воздействие гипероксии?
10. Какие изменения происходят в системе кровообращения при адаптации к низким температурам?
11. Чем различается адаптация к высокой температуре в аридных и юмидных зонах?
12. Как изменения гемодинамики определяются типом гравитационных нагрузок?

ГЛАВА 7. СИСТЕМА ДЫХАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В главе рассмотрено дыхание при различном уровне физической активности, при недостатке и избытке кислорода, в условиях низких температур внешней среды, а также дыхание при воздействии на организм высоких температур.

ПОВЫШЕННАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Постоянная физическая тренировка ведёт к перестройке:

- органов дыхания;
- дыхательных мышц;
- вентиляции и перфузии лёгких;
- системы транспорта дыхательных газов;
- системы регуляции дыхания;
- окислительных процессов в клетках тканей и органов. Долговременные приспособительные реакции организма при этом направлены на развитие мощности системы дыхания, её эффективности и экономичности.

Вентиляция лёгких в условиях покоя у спортсменов и лиц, постоянно занимающихся физическим трудом различной интенсивности (тренированных), характеризуется:

- снижением частоты дыхательных актов;
- снижением МОД (в среднем на 30%);
- увеличением вентиляционного эквивалента кислорода - объёма дыхания, затрачиваемого на 1 л потреблённого O_2 (основной причиной повышения вентиляционного эквивалента O_2 является оптимальное соотношение альвеолярной вентиляции и перфузии, а также возросшая диффузионная способность лёгких).

Индекс экономичности внешнего дыхания (ЭВД). Для оценки ЭВД введён специальный индекс - уровень ЭВД в покое и при физической деятельности (УЭВД), позволяющий определить уровень физической работоспособности человека. Этот индекс определяют по формуле:

$$УЭВД = УЖЕЛ + УМВЛ/УМОД \times 50,$$

где:

ЖЕЛ, МВЛ и МОД рассчитаны в % к должным величинам; в условиях физической активности УЭВД определяется отношением физической работы (кгхм/мин) к МОД во время физической работы (л/мин) и измеряется в кгхм/л.

Изменения УЭВД подразделяют на два основных типа - резерв и дефицит. *'Резерв ЭВД* (УЭВД больше 100%), свидетельствующий о высокой экономичности внешнего дыхания, наблюдается у здоровых людей с хорошим физическим развитием. Наиболее высок резерв ЭВД у высококвалифицированных спортсменов и у лиц тяжёлого физического труда.

'Дефицит ЭВД (УЭВД меньше 100%), характеризующий недостаточную экономичность внешнего дыхания, характерен для большинства детей и пожилых людей, а также для лиц, длительное время находящихся в условиях гипокинезии и детренированности.

Оптимальная экономизация дыхания на протяжении всей жизни человека - важный фактор гармоничного развития организма. Высокий резерв ЭВД должен препятствовать её снижению в среднем и пожилом возрасте. Резерв ЭВД у лиц среднего возраста в пределах 30-40%, т.е. при УЭВД 130-140%, позволяет сохранить УЭВД в пожилом возрасте в пределах 100-115%.

Большое значение ЭВД приобретает при физической деятельности. Физическая работоспособность человека при выполнении им работы с возрастающей мощностью в значительной мере лимитируется степенью повышения МОД. Интенсивный прирост МОД при этом уменьшает экономичность лёгочной вентиляции и снижает физическую работоспособность.

- Фаза повышения ЭВД при физической деятельности (с 16,6 до 25,8 кгХм/л) наблюдается при возрастании мощности физической работы в пределах режима минимальной и средней физической нагрузки (до 800 кгхм/мин).
- Фаза дезэкономизации физической работы происходит в режиме субмаксимальной нагрузки. Так, при нагрузке 1400 кгХм/мин ЭВД снижается до 15,2 кгХм/л.

Таким образом, для наибольшего повышения ЭВД, а также для восстановления утраченной ЭВД вследствие патологических нарушений необходимы систематические физические тренировки с минимальной и средней физической нагрузкой.

Параметры лёгочной вентиляции

У спортсменов и лиц физического труда увеличены максимальные величины лёгочной вентиляции (МВЛ).

Например, у бегунов-стайеров во время бега на длинные дистанции лёгочная вентиляция длительное время поддерживается на уровне 120-140 л/мин.

Прирост лёгочной вентиляции у тренированных людей идёт преимущественно за счёт увеличения дыхательного объёма. У нетренированных людей того же возраста и пола МВЛ не превышает 70-100 л/мин.

Мощность и выносливость человека при выполнении физических нагрузок определяется уровнем максимального потребления кислорода (МПК) и способностью длительное время поддерживать высокую скорость потребления O_2 .

У высококвалифицированных спортсменов значение МПК увеличено (до 80 мл/мин/кг веса), что превышает показатели нетренированных людей на 60-80%.

Вентиляционный анаэробный порог. У хорошо тренированных людей повышается вентиляционный анаэробный порог, то есть мощность работы, начиная с которой лёгочная вентиляция растёт быстрее, чем интенсивность нагрузки.

У нетренированных людей вентиляционный анаэробный порог соответствует мощности нагрузки в пределах 50-60%; у тренированных спортсменов - 80-85% от максимального потребления O_2 .

Транспорт дыхательных газов зависит от ряда факторов:

- работа сердечно-сосудистой системы;
- объём циркулирующей крови;
- количество эритроцитов и гемоглобина.

У тренированных людей все перечисленные звенья транспорта дыхательных газов имеют более высокую мощность. В частности, систолический (ударный) объём сердца, его величина в полной мере характеризуют уровень тренированности сердечно-сосудистой системы.

- В *условиях покоя* ЧСС значительно уменьшается - у спортсменов находится на уровне 40 и ниже уд./мин, ударный объём сердца уменьшается на 20-40%, МОК остаётся таким же или увеличивается незначительно (в среднем на 10%).

- При *физической нагрузке* ударный объём сердца и МОК увеличивается по сравнению с нетренированными на 50-60%, т.е. функциональные резервы миокарда у тренированных лиц намного выше и легко включаются в работу.

Артерио-венозная разница по O_2 . Высокий уровень работоспособности спортсменов и лиц физического труда зависит не только от величины ударного объёма сердца и МОК, но и от способности его эффективного использования. Эту способность характеризует величина артерио-венозной разницы по O_2 . Чем она выше, тем эффективней МОК.

По мере тренированности к физическим нагрузкам величина артерио-венозной разницы по O_2 закономерно увеличивается. Содержание O_2 в смешанной венозной крови у нетренированных лиц снижается в среднем до 55 мл O_2 /л крови, а у тренированных - до 25 мл O_2 /л крови.

Таким образом, тренированные люди более эффективно используют один и тот же объём крови, протекающий по тканям и органам, извлекая из него больше O_2 .

Объём циркулирующей крови (ОЦК). Система крови у лиц с высокой мышечной активностью характеризуется увеличением её объёма в циркуляции. Увеличение объёма крови идёт преимущественно за счёт плазмы, а не массы эритроцитов, что не приводит к увеличению вязкости крови.

У высококвалифицированных спортсменов ОЦК увеличивается на 10-20% по сравнению с нетренированными лицами.

Кислородная ёмкость крови, которая определяется количеством эритроцитов и гемоглобина, у тренированных и нетренированных лиц остаётся примерно одинаковой.

В то же время кривая диссоциации оксигемоглобина у лиц, тренированных к высоким физическим нагрузкам, приобретает особые качества: сдвиг верхней крутой части влево, а нижней - вправо, т.е. сродство к кислороду гемоглобина в резервуаре лёгочных капилляров увеличивается, а в резервуаре тканевых капилляров уменьшается. Этому способствует, прежде всего, повышенное содержание в эритроцитах у тренированных лиц 2,3-дифосфоглицерата. У спортсменов, тренирующих выносливость, концентрация 2,3-дифосфоглицерата увеличивается в среднем на 15-20%, что способствует облегчённой отдаче O_2 тканям

Потребление O_2 тканями у лиц с повышенной физической активностью также интенсифицируется путём следующих механизмов:

- увеличивается суммарная площадь тканевых капилляров, особенно в мышцах (у спортсменов-стайеров плотность капилляров в мышцах составляет 400-500 на 1 мм^2 вместо 300-350 на 1 мм^2 у нетренированных);
- улучшается транкапиллярный обмен жидкостью и дыхательными газами.

Повышение работоспособности и выносливости к физическим нагрузкам на этапе тканевого дыхания связано также со значительными адаптивными изменениями мышц и метаболических процессов в них:

- у спортсменов и лиц физического труда гипертрофируются работающие мышцы;
- гипертрофия мышечных волокон приводит к значительному увеличению центральных (до 50%) и поверхностных митохондрий (до 300%);
- в мышцах увеличивается концентрация миоглобина в 1,5- 2 раза, содержание энергетических субстратов - на 30-50%, содержание и активность ферментов окислительного метаболизма - в 2-3 раза;
- в такой ситуации мышечные клетки усиливают способность использовать гликоген и жиры. В окислительном метаболизме при этом происходит

своеобразный сдвиг в сторону жирового обмена, так как он более энергоёмкий, чем углеводный.

Таким образом, длительная тренировка с физическими нагрузками динамического характера приводит к повышению мощности и выносливости организма за счёт приспособительных изменений всех этапов дыхания.

Общая схема адаптивных изменений системы дыхания в условиях тренированности к высоким физическим нагрузкам представлена на рис. 7-1.

ПОНИЖЕННАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Снижение метаболических процессов в мышечных клетках при длительной гипокинезии приводит к ухудшению функций сокращения и расслабления мышц, в том числе и дыхательных, значительному снижению их силы и выносливости, а, следовательно, и работоспособности.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 7-1. Адаптивные изменения всех этапов дыхания человека в условиях тренированности к физическим нагрузкам

При отсутствии значительных физических нагрузок в органах дыхания наблюдаются нижеперечисленные изменения.

- Сниженные дыхательные объёмы и ёмкости.
- Низкая экономичность внешнего дыхания; как правило, присутствует дефицит УЭВД.
- Грудная клетка малоподвижна, лёгкие расправляются не полностью.
- Частое, неглубокое дыхание со слабым развитием дыхательной мускулатуры и сниженной эластической тягой нередко сопровождается увеличением резистивного и респираторного сопротивления лёгких. Это приводит к снижению форсированного дыхания и МВЛ.
- Сниженная активность синтеза сурфактанта сказывается на расправлении альвеол.
- Слабо развитая капиллярная сеть и уменьшенная площадь альвеолярной поверхности лёгких ведут к снижению диффузионной способности лёгких, особенно при физических нагрузках.
- Диффузия дыхательных газов между тканевыми капиллярами и интерстициальной жидкостью, а также скорость потребления O_2 тканями отвечает низкому уровню окислительных процессов в клетках.

Изменения системы дыхания у человека в условиях длительной гипокинезии представлены на рис. 7-2.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 7-2. Изменения системы дыхания у человека в условиях длительной гипокинезии

ДЫХАНИЕ В УСЛОВИЯХ КИСЛОРОДНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

Термин «экзогенная гипоксическая гипоксия» подразумевает кислородную недостаточность, возникающую при понижении pO_2 во вдыхаемом воздухе. В зависимости от длительности воздействия гипоксическая гипоксия может быть острой и хронической.

- Острая гипоксия может развиваться в течение нескольких секунд и минут, иногда часов при быстром подъёме на высоту более 5000 м над уровнем моря или вдыхании газовых смесей, содержащих менее 10% кислорода
- Критическое значение парциального давления O_2 в альвеолярном воздухе для возникновения острой гипоксии составляет от 27 до 33 мм рт.ст.
- Непродолжительное действие острой гипоксии (в течение нескольких минут), как правило, носит обратимый характер.
- Продолжительное действие острой гипоксии приводит к тяжёлым (часто необратимым) последствиям, вплоть до летального исхода.
- Хроническая гипоксия характеризуется кислородной недостаточностью организма. Например, на высоте 3000 м над уровнем моря во вдыхаемом воздухе составляет 100 мм рт.ст. вместо 149 мм рт.ст., характерного для уровня моря.

Длительное или постоянное пребывание человека в гипоксической среде ведёт к приспособительному изменению органов дыхания,

кровообращения, крови и других функциональных систем, т.е. всех пяти этапов дыхания. Ниже рассмотрены изменения дыхания в начальный период адаптации, при длительном или постоянном пребывании в гипоксических условиях.

Начальный период адаптации

В условиях высокогорья в начальный период адаптации у человека развивается ряд изменений:

- развивается гипервентиляция лёгких за счёт учащения дыхания и увеличения дыхательного объёма;
- увеличивается остаточный объём лёгких за счёт снижения резервного объёма выдоха;
- благодаря усиленной вентиляции раскрываются резервные альвеолы, растёт функциональная остаточная ёмкость лёгких, что приводит к появлению так называемой «функциональной эмфиземы» и увеличению объёма альвеолярного воздуха;
- в первые дни пребывания человека в горах ЖЕЛ снижается за счёт повышения тонуса дыхательных мышц и поднятия диафрагмы в результате вздутия кишечника. При дальнейшей адаптации к высокогорью ЖЕЛ нормализуется.

Частота дыхания зависит от высоты над уровнем моря.

- Дыхание у людей, кратковременно пребывающих в горах, изменяется уже на высоте 1000 м над уровнем моря (в основном за счёт некоторого увеличения глубины дыхания).
- Учащение дыхания хорошо заметно на высоте 2000 м.
- На высоте 3000 м дыхание может не только учащаться, но становиться периодическим, напоминая дыхание Чейна-Стокса. Периодическое дыхание проявляется чаще ночью, во время сна. Механизм этого явления плохо изучен, предполагают, что парадоксальная реакция в дыхании может проявляться в результате снижения чувствительности хеморецепторов к гипоксемии.

Адаптационные реакции дыхания

Благодаря учащению и углублению дыхания на высоте увеличивается минутный объём дыхания (МОД).

Гипервентиляция лёгких способствует повышению напряжения O_2 в альвеолах.

Например, при атмосферном давлении 457 мм рт.ст., pO_2 во вдыхаемом воздухе 96 мм рт.ст.; благодаря усиленной лёгочной вентиляции pO_2 в альвеолах возрастает с 38,5 до 52-55 мм рт.ст. Это способствует повышению насыщения артериальной крови кислородом с 65 до 85%.

Альвеолярная гипервентиляция также понижает парциальное давление углекислого газа в артериальной крови (p_aCO_2).

Кроме положительного эффекта, гипервентиляция на высоте ведёт к отрицательным явлениям, так как она заметно снижает напряжение CO_2 в альвеолах и крови. Как следствие развивается респираторный алкалоз - рН крови заметно повышается. Однако выраженная гипокапния и алкалоз удерживаются непродолжительное время, так как включаются другие механизмы компенсации, в частности, изменяется щелочной резерв крови. Через несколько дней пребывания на высоте рН в артериальной и венозной крови нормализуется, а щелочной резерв понижается.

Заметно изменяется структура дыхательных путей.

- Слизистая оболочка верхних дыхательных путей, трахеи и бронхов становится отёчной, бокаловидные клетки выделяют значительное количество секрета.
- Реснитчатый эпителий находится в активном состоянии.
- Стенки дыхательных путей содержат полнокровные сосуды.

- Отёк слизистой оболочки и полнокровие стенок дыхательных путей в первые дни пребывания на высоте могут привести к повышению аэродинамического сопротивления при дыхании.
- Со временем отмеченные изменения структуры дыхательных путей нормализуются, но в составе эпителия слизистой оболочки количество бокаловидных клеток остаётся увеличенным.

Несмотря на напряжённую функцию внешнего дыхания в период кратковременного пребывания в горах, насыщение кислородом артериальной крови падает, но в меньшей степени, чем следовало бы ожидать. Это достигается увеличением в альвеолах.

Таким образом, относительное снижение экономичности внешнего дыхания у неадаптированных к горам людей всё-таки позволяет организму адаптироваться к кислородной недостаточности. Этому способствуют реакции сердечно-сосудистой системы и крови.

- В первые дни пребывания в условиях высокогорья увеличиваются ЧСС, ударный объём сердца и МОК.
- Возрастает ОЦК за счёт мобилизации крови из депо.
- Увеличение МОК сопровождается увеличением центрального объёма крови и содержанием крови в капиллярах лёгких.
- Увеличивается линейная скорость кровотока в сосудах.
- У здоровых лиц в первые дни пребывания на высотах 3200- 3600 м над уровнем моря обнаруживается снижение венозного давления, вызванное парадоксальной дилатацией венозных сосудов большого круга в ответ на симпатическую активацию.
- Транспорт O_2 к тканям облегчается за счёт увеличения кислородной ёмкости крови и увеличения количества функционирующих капилляров, проницаемость которых также повышена.

Кривая диссоциации оксигемоглобина. Усиление поглощения O_2 гемоглобином из воздуха альвеол и отдачи его тканям у человека в условиях высокогорья может осуществляться за счёт изменения сродства гемоглобина к кислороду и изменения кривой диссоциации оксигемоглобина (рис. 7-3).

string language="ru">string language="ru">

Рис. 7-3. Влияние напряжения CO_2 на кривую диссоциации оксигемоглобина

Реакции миокарда. Наиболее выраженные сдвиги в газотранспортной функции сердечно-сосудистой системы и крови выявляются в первые дни пребывания на горных высотах, так как организм мобилизует в экстренном порядке все механизмы защиты от дефицита O_2 . Так, происходит

своеобразная перестройка фазовой структуры систолы левого желудочка. В целом эта перестройка свидетельствует об

усилении сократительной способности сердца, однако она часто приводит к развитию синдрома острого утомления миокарда. На высоте 3200 м этот синдром удерживается на протяжении 2-3 недель, а на высоте 3600 м этот срок растягивается на 4 нед и более. В дальнейшем миокард, особенно правого желудочка, начинает гипертрофироваться, а концентрация миоглобина в миокарде увеличиваться.

Дизадаптация и дезадаптация. Описанные изменения в системе дыхания и газообмена являются результатом адаптивных реакций в ответ на воздействие высокогорной гипоксии. Однако человек может адаптироваться лишь до определённой высоты, выше которой наблюдается нарушение и срыв приспособительных реакций, т.е. дизадаптация и дезадаптация. Пределом, где возможна адаптация человека, родившегося на уровне моря, является высота 4500-5200 м над уровнем моря.

Стадия стабильной адаптации

Через 3-4 недели пребывания на горных высотах наблюдаются следующие изменения.

- Частота дыхания урежается, а минутный объём дыхания (МОД) и объём альвеолярной вентиляции снижаются. Однако МОД остаётся у акклиматизированных мигрантов на высоком уровне, превышая равнинные нормативы.
- pO_2 в альвеолах остаётся пониженным, а выраженность потери углекислоты заметно уменьшается - p_aCO_2 оказывается несколько выше, чем на начальном этапе адаптации.
- Длительное пребывание на высоте ведёт к увеличению ЖЕЛ, резервных объёмов вдоха и выдоха, остаточного объёма и общей ёмкости лёгких.
- Адаптивная перестройка лёгочных объёмов и ёмкостей сопровождается увеличением площади альвеолярной и капиллярной поверхности лёгких.
- Увеличивается максимальная вентиляция и диффузионная способность лёгких.
- Потребление O_2 и основной обмен чаще нормализуются, а максимальное потребление кислорода (МПК) повышается.
- Плотность капилляров в периферических тканях возрастает.
- Кислородная ёмкость крови увеличивается за счёт увеличения количества эритроцитов и гемоглобина.
- Артерио-венозная разница по O_2 достоверно увеличивается.
- Лёгочная артериальная гипертензия у мигрантов, длительно

пребывающих в горах, сохраняется и сопровождается умеренно выраженной гипертрофией правого отдела сердца и мышечного слоя сосудов малого круга кровообращения.

- У адаптированных мигрантов показатели внешнего дыхания и газообмена не достигают уровня, характерного для аборигенов высокогорья.
- Адаптированные люди способны в большей степени увеличивать вентиляцию лёгких, имеют более выгодный уровень экономичности внешнего дыхания, чем неадаптированные. У адаптированных не наблюдается существенных сдвигов в кислотно-щелочном равновесии.

Таким образом, при длительном пребывании человека на высоте в горах мощность и экономичность всех этапов дыхания значительно увеличиваются, но не достигают уровня, характерного для аборигенов высокогорья.

Естественная адаптация

У постоянных жителей (аборигенов) горных массивов наблюдают:

- некоторое учащение дыхания и увеличение лёгочной вентиляции;
- увеличение всех дыхательных объёмов и ёмкостей лёгких;
- увеличение диффузионной способности лёгких;
- повышение газотранспортной функции сердечно-сосудистой системы и крови;
- повышение диффузии дыхательных газов в тканях;
- повышение скорости потребления O_2 тканями;
- повышение максимального потребления кислорода (МПК);
- увеличение мощности и экономичности всей системы дыхания;
- снижение чувствительности хеморецепторов к гипоксии.

Основное различие в адаптации аборигенов и мигрантов в условиях высокогорья сводится к тому, что у первых адаптация имеет естественный характер, тогда как у вторых она приобретает путём сложных перестроек всех функциональных систем, ответственных за дыхание.

ДЫХАНИЕ В УСЛОВИЯХ ИЗБЫТКА КИСЛОРОДА

Гипероксия может встречаться при повышении атмосферного давления и увеличении процентного содержания кислорода в воздухе.

В настоящее время в медицине используется гипербарическая и нормобарическая гипероксия. В первом случае повышение атмосферного давления и процентного содержания O_2 приводит к значительному увеличению растворимости O_2 в крови. При дыхании чистым кислородом в альвеолярном воздухе составит $760 - 47 = 713$ мм рт.ст. При увеличении в 7 раз растворимости O_2 в крови вместо 3 мл/л будет 21 мл/л O_2 . Показано, что

человек некоторое время может дышать чистым кислородом под давлением 3 атм без большого ущерба для себя.

В связи с этим в хирургии используют метод гипербарической оксигенации при оперативных вмешательствах, в частности на «сухом» сердце - без использования аппарата для искусственного кровообращения. В этом случае в альвеолах достигает $3 \times 713 = 2139$ мм рт.ст., а количество растворимого O_2 в крови увеличивается в 21 раз, т.е. будет около 65 мл/л. Хотя гемоглобин свяжет такое же количество кислорода, как и при дыхании обычным воздухом, суммарная прибавка доли растворённого в крови O_2 будет достаточно ощутимой ($65 \times 5 = 325$ мл). Использование гипербарической оксигенации в сочетании с гипотермией, когда потребность тканей в O_2 резко снижается, даёт возможность хирургу выполнять сложные операции.

Нормобарическая оксигенация, при которой воздух содержит до 35% O_2 , используется в терапевтических целях у больных, имеющих эндогенную кислородную недостаточность вследствие поражения органов дыхания, сердечно-сосудистой системы и крови.

Гипероксическая ситуация возникает при дыхании газовыми смесями под водой. Повышение атмосферного давления приводит к повышению в альвеолярном воздухе и напряжения O_2 в крови. В связи с этим для работы под водой используют газовые смеси с низким содержанием O_2 , например, на глубине 40 м дают смесь, содержащую 5% O_2 , на глубине 100 м - 2% O_2 .

Дыхание газовыми смесями при повышенном атмосферном давлении связано и с другими проблемами.

- Возрастание парциального давления азота в крови вызывает наркотический эффект. Поэтому начиная с 60 м азотно-кислородная смесь заменяется гелио-кислородной смесью. Гелий менее токсичен, он начинает оказывать наркотический эффект лишь на глубине 200-300 м.
- При быстром снижении давления в замкнутом пространстве (быстрый подъём водолаза с глубины) возникает декомпрессия. При этом газовая эмболия, вызванная «вскипанием» растворённых газов крови, приводит к тяжёлым расстройствам кровообращения. В связи с этим требуется медленная декомпрессия, например, подъём с глубины 300 м требует двухнедельной декомпрессии. Летательные герметизированные аппараты подчинены тем же закономерностям.

ДЫХАНИЕ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Холодный воздух, кроме низких температур, имеет повышенную плотность и сухость. Эти особенности предъявляют к органам дыхания повышенные требования, и, прежде всего, к калориферной и увлажняющей функциям верхних дыхательных путей.

Издавна бытует мнение, что на Крайнем Севере в атмосфере не хватает кислорода. Это вызвано тем, что у многих вновь прибывших на Север возникает так называемая «полярная одышка». На самом деле процентное содержание O_2 в воздухе соответствует норме, а весовое содержание O_2 в 1 м³ даже превышает показатели средних широт на 20-40%. Причина «полярной одышки» лежит в повышенной потребности организма в кислороде, когда организм человека включает все имеющиеся механизмы, чтобы ликвидировать кислородную задолженность.

Экологически обусловленные адаптивные изменения дыхательной системы целесообразно рассматривать на стадиях начальной адаптации (до 6 месяцев), стабильной адаптации (свыше 3-х лет проживания) и естественной адаптации (коренные жители). Наиболее характерная приспособительная реакция - гипервентиляция лёгких.

Начальная стадия адаптации

Верхние дыхательные пути у вновь прибывших в условиях низких температур подвергаются экстремальным воздействиям. Частота дыхания изменяется в зависимости от внешней температуры, может повышаться или снижаться: чем ниже температура внешней среды, тем более часто и поверхностно внешнее дыхание. В процессе адаптации изменение частоты дыхания и дыхательных объёмов на Севере в комфортных условиях (тёплом помещении) заметно изменяется в сторону урежения дыхания и увеличения его глубины.

К постоянным признакам адаптивных изменений внешнего дыхания у мигрантов на этапе «атмосферный воздух-альвеолярный воздух» относятся:

- увеличение остаточного объёма лёгких и МОД;
- снижение резервного объёма выдоха, ЖЕЛ и МВЛ.

У многих новосёлов газообмен на этапе «альвеолярный воздух-кровь» напряжён, при повышенном метаболическом запросе организма в кислороде возникает его дефицит и развивается гипоксия. Кроме того, в результате спазма периферических сосудов, направленного на повышение эффективности терморегуляции, увеличивается скорость линейного кровотока и общего сосудистого сопротивления в большом круге кровообращения.

Таким образом, у новосёлов Крайнего Севера в результате срочной адаптации:

- кислородный режим организма находится в состоянии напряжения;
- физиологические системы, ответственные за дыхание, значительно лимитированы в своей деятельности, имеют низкую экономичность и нередко недостаточную мощность для обеспечения повышенных потребностей организма в энергообмене.

Стадия стабильной адаптации

Для достижения состояния адаптированности, т.е. повышения мощности, эффективности и экономичности всех этапов дыхания, в условиях Крайнего Севера человеку необходим длительный период времени. Он составляет в среднем 3 года. В результате сложной приспособительной перестройки органов дыхания внешнее дыхание адаптированных мигрантов приобретает новые черты.

- Урежается частота дыхания, увеличивается дыхательный объём.
- ЖЕЛ нормализуется, но гипервентиляция остаётся, хотя и несколько снижается.
- Показатели форсированного дыхания (в частности, МВЛ), улучшаются, но остаются ниже должных величин. Остаточный объём лёгких продолжает быть увеличенным.
- Артериальная лёгочная гипертензия. У большей части северян сохраняется артериальная лёгочная гипертензия, которая способствует снижению гравитационного эффекта крови и включению функциональных резервов лёгких в газообмен.
- Эффективность внешнего дыхания и газообмена в лёгких закономерно повышается, но у некоторой части северян экономичность лёгочной вентиляции и кровообращения остаётся низкой в результате значительной неравномерности альвеолярной вентиляции и перфузии, а также развития синдрома гиподинамии миокарда левого желудочка.
- Миокард. Длительная адаптация к условиям Крайнего Севера приводит к выраженной гипертрофии миокарда правого желудочка сердца. Эта гипертрофия сопровождается повышением концентрации миоглобина в мышечных волокнах как правого, так и левого отдела сердца, а также увеличением плотности кровеносных капилляров в миокарде.
- Кислородная ёмкость крови у адаптированных северян увеличивается в абсолютном значении за счёт увеличения её объёма. Количество гемоглобина и эритроцитов в единице объёма крови при этом остаётся в пределах физиологической нормы.
- Скорость потребления кислорода. В тканях у северян, так же как и у горцев, скорость потребления кислорода возрастает в результате повышения активности окислительных ферментов и интенсификации метаболизма.

Таким образом, длительная адаптация мигрантов к экологическим условиям Севера сопровождается сложной приспособительной перестройкой всех этапов дыхания, направленной на обеспечение организма высоким уровнем энергетического обмена и работоспособности. Функциональные системы, ответственные за кислородный режим организма, у адаптированных мигрантов по своим характеристикам приближаются к функциональным системам аборигенов, но не достигают их уровня.

Естественная адаптация

Постоянные жители Крайнего Севера (русские поморы) и аборигены (северные народности) имеют естественную адаптацию к экстремальным факторам высоких широт и обладают более совершенными механизмами приспособительных реакций.

- У них, как правило, не встречаются «полярная одышка», синдромы «полярного напряжения» и «полярной гипоксии».
- Постоянные жители и аборигены имеют хорошо развитые органы дыхания, которые характеризуются увеличением дыхательных объёмов и ёмкостей, высокими показателями МВЛ и максимального потребления кислорода (МПК).
- Частота дыхания чаще снижена, калориферная и увлажняющая функции дыхательных путей хорошо выражены, их мукоцилиарный аппарат отчётливо гипертрофирован.
- Увеличенная площадь альвеолярной и капиллярной поверхности лёгких закономерно приводит к увеличению их диффузионной способности.
- В бронхиолах и альвеолах у аборигенов повышен синтез сурфактанта, аэрогематический барьер заметно истончён.

Таким образом, у постоянных жителей и аборигенов Севера в процессе их естественной адаптации все этапы дыхания приобретают более высокую, чем у мигрантов, мощность, эффективность и экономичность.

ДЫХАНИЕ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В условиях высоких температур внешней среды (по крайней мере летом) проживает около половины населения Земли. Кроме того, значительная часть населения планеты вынуждена сталкиваться с действием высоких температур в силу профессиональной необходимости, миграции и бытовых условий.

Тепловой стресс

При тепловом стрессе компенсаторно увеличиваются частота дыхания и дыхательный объём, что приводит к увеличению МОД и альвеолярной вентиляции, а значительная гипервентиляция лёгких способствует вымыванию CO_2 , что, в свою очередь, смещает рН крови в щелочную сторону. В связи с этим гипокапния и дыхательный алкалоз являются постоянными признаками перегревания организма человека.

В условиях длительного перегревания организма изменение лёгочного дыхания у человека сведено до минимума, так как у него отсутствует механизм тепловой одышки, столь резко выраженный у большинства млекопитающих и птиц. Основную нагрузку при этом несёт сердечно-сосудистая система, кровь и тканевой метаболизм.

Основная реакция человека на тепло - перераспределение крови между «ядром» и «оболочкой» тела за счёт расширения периферических

кровеносных сосудов, преимущественно кожи, и сужением сосудов чревной области (печени, ЖКТ), а также почек и скелетной мускулатуры.

В результате этой реакции улучшается теплоотдача и одновременно уменьшается доставка O_2 к внутренним органам с высоким уровнем обменных процессов и кратковременно снижается скорость потребления O_2 . В дальнейшем в результате развития циркуляторной гипоксии органов и тканей запускается каскад процессов, приводящий к увеличению потребления O_2 (рис. 7-4).

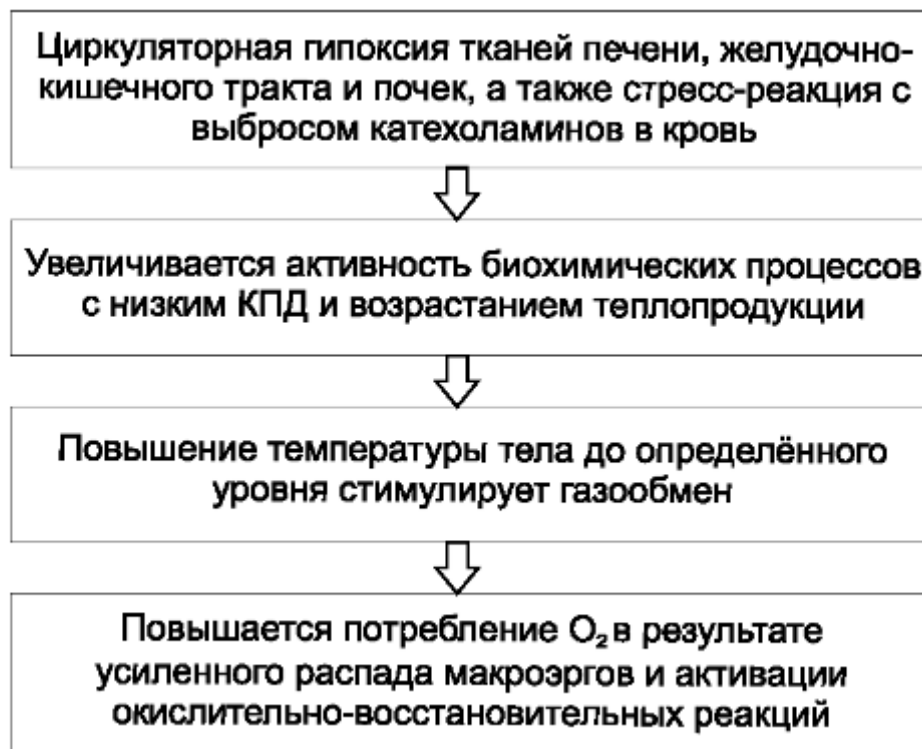


Рис. 7-4. Схема последовательного развития процесса повышения потребления O_2 при остром тепловом воздействии

Срочная адаптация

Срочная адаптация к высокой внешней температуре закономерно сопровождается комплексным изменением функционирования дыхательной, сердечно-сосудистой систем и системы крови. Изменения в функционировании дыхательной системы затрагивают процессы диффузии и транспорта газов при тепловом воздействии.

- Диффузионная способность лёгких при действии тепла большей частью остаётся нормальной или незначительно сниженной за счёт уменьшения кровотока в лёгких.
- Кислородная ёмкость гемоглобина и транспорт дыхательных газов кровью также остаются в пределах нормы.
- Проницаемость капилляров периферических тканей при воздействии тепла повышается, а значительное расширение и полнокровие их обеспечивает повышение скорости потребления O_2 тканями «оболочки» тепла.
- В «ядре» (преимущественно в печени, ЖКТ и почках) потребление O_2 снижается за счёт сниженного кровотока.

Естественная адаптация

У адаптированных к жаркому и сухому климату людей изменения дыхания и кровообращения менее выражены:

- гипервентиляция лёгких отсутствует или слабо выражена;
- ЧСС, ударный объём сердца и МОК снижаются до величин, характерных для жителей средних широт;
- ОЦК за счёт плазмы остаётся увеличенным;
- кровотоков во внутренних органах снижен, но при этом гипоксическая нагрузка на печень, ЖКТ и почки также уменьшена.

Дыхание человека в условиях тропиков и жаркого морского климата изменяется практически так же, как и в условиях аридной зоны. Однако высокая влажность воздуха затрудняет процесс теплоотдачи за счёт замедления испарения с поверхности кожи.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В каких структурах дыхательной системы происходят изменения при повышенной двигательной активности?
2. Какие изменения в вентилиции лёгких наблюдаются при повышенной двигательной активности?
3. Как реагирует система транспорта дыхательных газов на повышенную двигательную активность?
4. Какие адаптивные изменения в системе дыхания наблюдаются при адаптации к пониженной двигательной активности?
5. Назовите критическое значение парциального давления O_2 в альвеолярном воздухе, при котором возникает острая гипоксия.
6. Какие адаптивные изменения в системе дыхания наблюдаются в начальный период адаптации к высокогорью?

7. Дайте определение первичной высотной артериальной лёгочной гипертензии.
8. Какие виды гипероксии вы знаете?
9. Какие изменения в системе дыхания наблюдаются при действии высоких температур?
2. Какие изменения в вентиляции лёгких наблюдаются при повышенной двигательной активности?
3. Как реагирует система транспорта дыхательных газов на повышенную двигательную активность?
4. Какие адаптивные изменения в системе дыхания наблюдаются при адаптации к пониженной двигательной активности?
5. Назовите критическое значение парциального давления O_2 в альвеолярном воздухе, при котором возникает острая гипоксия.
6. Какие адаптивные изменения в системе дыхания наблюдаются в начальный период адаптации к высокогорью?
7. Дайте определение первичной высотной артериальной лёгочной гипертензии.
8. Какие виды гипероксии вы знаете?
9. Какие изменения в системе дыхания наблюдаются при действии высоких температур?

ГЛАВА 8. УСЛОВИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ И ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ

В главе рассмотрены: механизмы теплопродукции и теплоотдачи, регуляция температуры тела, адаптация организма к гипертермическим и гипотермическим условиям среды, а также возрастные и предельные возможности системы терморегуляции.

МЕХАНИЗМЫ ТЕПЛОПРОДУКЦИИ И ТЕПЛООТДАЧИ

Обмен веществ неизбежно - в соответствии с законами термодинамики - связан с выработкой тепла. По признакам выработки тепла и сохранения постоянной температуры все организмы подразделяют на гомойотермные и пойкилотермные.

- Гомойотермные (теплокровные) организмы постоянно сохраняют температуру тела на фиксированном уровне, эти организмы (включая и человека) не только интенсивно вырабатывают тепло, но и регулируют температурный гомеостаз специальными механизмами.
- Пойкилотермные (холоднокровные, например, рыбы и земноводные) организмы характеризуются значительно более низкой интенсивностью теплопродукции. Температура тела у них лишь незначительно превышает температуру окружающей среды и претерпевает колебания в соответствии с Совокупность процессов теплопродукции и теплоотдачи, поддерживающих температурный гомеостаз организма, называется терморегуляцией.

ТЕПЛОПРОДУКЦИЯ И ТЕМПЕРАТУРА ТЕЛА

Правило Вант-Гоффа. Все протекающие в живом организме химические реакции, включая процессы обмена веществ, зависят от температуры. В соответствии с правилом Вант-Гоффа, температурная зависимость обмена и у пойкилотермных организмов, и у абиотических химических реакций

идентична, т.е. *интенсивность процессов превращения энергии возрастает пропорционально внешней температуре.*

Это правило справедливо и для гомойотермных организмов, но у них данная зависимость замаскирована другими эффектами. Если интактный гомойотермный организм охлаждать (начиная с комфортной температуры окружающей среды в термонеutralной зоне), интенсивность протекающих в организме процессов энергетического обмена и, следовательно, выработка тепла возрастают, предотвращая понижение температуры тела.

Регуляторный термогенез. Путём фармакологического вмешательства (например, с помощью наркоза) или путём повреждения определённых участков ЦНС можно блокировать терморегуляцию; в этом случае кривая зависимости теплопродукции от температуры будет такой же, как и для пойкилотермных организмов. Тот компонент теплопродукции, который может быть блокирован подобным образом и относится к регуляторному термогенезу (рис. 8-1).

Регуляторный термогенез включает:

- произвольную активность локомоторного аппарата;
- произвольную тоническую или ритмическую мышечную активность (дрожь);
- недрожательный термогенез - усиление обменных процессов, не связанных с сокращениями мышц.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 8-1. Взаимосвязь между температурой тела и интенсивностью обмена веществ у гомойотермных организмов (по данным экспериментов на собаке): Верхняя кривая - в условиях функционирования терморегуляции интенсивность обмена веществ при понижении температуры сначала резко возрастает, достигая максимума, а затем снижается в соответствии с правилом Вант-Гоффа. Нижняя кривая - при блокировании терморегуляции с помощью глубокого наркоза интенсивность обменных процессов подчиняется правилу Вант-Гоффа с самого начала охлаждения. Разница между двумя кривыми соответствует регуляторному термогенезу

Теплоотдача

В условиях покоя, характеризующегося постоянством средней температуры тела, интенсивность метаболизма (М) теоретически равна скорости переноса тепла от внутренней области тела к по- верхностному слою - внутренний поток тепла ($H_{вн}$) - и скорости переноса тепла от поверхности тела в окружающее пространство - наружный поток тепла ($H_{нар}$):

$$M = H_{вн} = H_{нар}$$

Внутренний поток тепла

Менее половины всего тепла, выработанного внутри тела, распространяется к поверхности благодаря его проведению через ткани; значительная часть вырабатываемого тепла переносится путём конвекции в кровоток. Благодаря высокой теплоёмкости, кровь хорошо

подходит для переноса тепла и, соответственно, для поддержания теплового баланса в организме. Внутренний поток тепла ($H_{вн}$), пропорционален разности между внутренней температурой ($T_{вн}$) и средней кожной температурой ($T_{кожн}$); он определяется также теплопроводностью (C), величина которой зависит от скорости кровотока в коже и конечностях:

где:

A - площадь поверхности тела.

У взрослого человека теплопроводность может изменяться со скоростью кровотока в 4-7 раз (в зависимости от толщины поверхностного слоя тела и от выраженности подкожной жировой прослойки). Теплосопротивление (тепловая изоляция) - величина, обратная C ($1/C = It$).

Вариабельность теплопроводности до некоторой степени определяется тем, что кровоток в конечностях происходит по принципу противотока. Глубокие крупные сосуды конечностей располагаются параллельно, благодаря чему кровь, следующая по артериям на периферию, отдаёт своё тепло близлежащим венам. Таким образом, сосуды конечностей получают предварительно охлаждённую кровь, и осевой температурный градиент в конечностях становится круче. В теплой среде поверхностные вены расширяются и пропускают больше возвращающейся крови, так что эффект короткого замыкания ослабевает. В результате осевой температурный градиент уменьшается и теплоотдача усиливается.

Наружный поток тепла

Компонентами наружного теплового потока служат слагаемые теплоотдачи: проведение тепла ($H_{п}$), конвекция ($H_{к}$), излучение ($H_{изл}$) и испарение ($H_{исп}$). Общий поток тепла определяется суммой этих компонентов:

$$H_{нар} = H_{п} + H_{к} + H_{исп}$$

Вклад каждого компонента в общую сумму (выраженный в процентах) в условиях покоя и при физической нагрузке указан на рис. 8-2. Перенос тепла путём проведения происходит, когда тело соприкасается с плотным субстратом. Величина потока проводимого

тепла определяется температурой и теплопроводностью прилежащего субстрата. Из тех частей поверхности тела, которые соприкасаются с воздухом, перенос тепла осуществляется путём конвекции, излучения и испарения.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 8-2. Температура тела, теплопродукция и теплоотдача в условиях покоя и при физической нагрузке: А - изменение температуры тела: верхняя кривая - внутренняя температура тела ($T_{вн}$), нижняя кривая - средняя кожная температура ($T_{кожн}$). Б - теплопродукция (огнивающая линия) и теплоотдача (столбики): нижняя часть столбиков - теплоотдача путём излучения, средняя часть - теплоотдача путём конвекции, верхняя часть - теплоотдача путём испарения (без учёта теплоотдачи за счёт проведения)

Конвекция

Если кожа теплее окружающего воздуха, прилегающий к ней слой воздуха нагревается, поднимается и замещается более холодным и плотным воздухом. В ходе этого процесса (естественная конвекция) тепло уносится ламинарным потоком воздуха у поверхности кожи. Движущей силой этого потока служит разница между температурами тела и окружающей среды. Форсированная конвекция значительно усиливает интенсивность теплоотдачи.

Излучение

Теплоотдачу в виде длинноволнового инфракрасного излучения, испускаемого кожей (в нём не принимает участия проводящая среда), точно описывает уравнение Стефана-Больцмана:

$$R \approx T_{кожн}^4 - T_{стен}^4$$

т.е. излучение является функцией четвёртой степени от абсолютной температуры.

Для небольшого диапазона температур перенос тепла за счёт излучения ($H_{изл}$) может быть описан с достаточной точностью при помощи линейного уравнения:

$$H_{изл} = h_{изл}(T_{кожн} - T_{изл}) \cdot A$$

где:

$T_{кожн}$ - средняя температура кожи, $T_{изл}$ - средняя температура излучения (температура окружающих поверхностей), A - эффективная площадь поверхности тела и $h_{изл}$ - коэффициент переноса тепла за счёт излучения.

Коэффициент $h_{изл}$ учитывает излучающую способность кожи, которая для длинноволнового инфракрасного излучения равна примерно 1, независимо от пигментации, т.е. кожа излучает почти столько же энергии, сколько и «полный излучатель», или абсолютно чёрное тело. Испускающая способность окружающих стен должна учитываться только в том случае, если они располагаются очень близко к телу. Излучаемое тепло поглощается телом в помещениях, содержащих излучатели тепла или освещённых солнечным светом, когда средняя температура излучения $T_{изл}$ превышает $T_{кожн}$. В случае коротковолнового инфракрасного излучения (испускаемого такими излучателями, как электрорадиаторы или солнце) и испускающая, и

поглощающая способности кожи становятся значительно меньше 1 (0,5-0,8) и оказываются зависимыми от кожной пигментации.

Перенос тепла путём конвекции и излучения часто объединяют и называют «сухой» теплоотдачей. В этом случае значение температуры окружающей среды - оперативная температура - взвешенное среднее между температурами воздуха и излучения.

Около 20% теплоотдачи тела человека в условиях нейтральной температуры (рис. 8-2) осуществляется за счёт испарения воды с поверхности кожи или со слизистой оболочки, выстилающей дыхательные пути.

Испарение

Теплоотдача путём испарения происходит даже тогда, когда относительная влажность окружающего воздуха достигает 100%. Единственное необходимое требование заключается в том, чтобы давление водяного пара на коже было больше давления водяного пара в окружающем воздухе. Это условие сохраняется до тех пор, пока температура кожи выше температуры окружающей среды, а кожа полностью увлажнена благодаря достаточному выделению пота.

«Неощущаемая» и «железистая» потеря воды. Потерю воды за счёт диффузии её через кожу и слизистые оболочки называют неощущаемой (или внежелезистой) потерей в отличие от железистой потери воды в результате функционирования потовых желёз. Только последний механизм находится под контролем системы терморегуляции и оказывает существенное влияние на общее количество переносимого тепла. Когда температура окружающей среды превышает температуру тела, теплоотдача может осуществляться только путём испарения. Эффективность потоотделения для процесса терморегуляции основана на поглощении большого количества тепла испаряющейся водой, 2400 кДж на 1 л.

Путём испарения 1 л воды организм человека может в течение дня отдать треть всего тепла, выработанного в условиях покоя.

Влияние одежды

Одежда является формой теплового сопротивления (или изоляции), величину которого ($1_{од}$) нужно прибавить к значениям термосопротивления тканей организма ($1_{т}$) и окружающего пограничного слоя ($1_{окр}$). Эффективность одежды обусловлена мельчайшими объёмами воздуха, присутствующими в структуре плетёной ткани или

в ворсе, где не может возникнуть сколько-нибудь заметных потоков воздуха. В этом случае тепло переносится только путём проведения, а воздух является плохим проводником тепла.

организма существует определённый диапазон температур, когда в состоянии покоя его теплопродукция минимальна. Такой диапазон температур называют термонеutralной зоной. Для человека в лёгкой

одежде нейтральная температурная зона составляет +19-22 °С, а для обнажённого человека - +28-30 °С.

При повышении или понижении температуры от термoneйтральной зоны интенсивность обменных процессов возрастает.

- При понижении температуры среды усиление обменных процессов есть не что иное, как компенсаторная терморегуляционная реакция.
- При повышении температуры среды эта реакция нецелесообразная, но вынужденная вследствие усиления дыхания (тепловая одышка), увеличения ЧСС и изменения других процессов, активизирующих теплоотдачу.

Факторы окружающей среды

Влияние непосредственного окружения на организм человека определяется по крайней мере четырьмя физическими факторами:

- температурой воздуха;
- давлением водяного пара в воздухе (влажностью);
- температурой излучения;
- скоростью движения воздуха (ветра).

string language="ru">string language="ru">

Рис. 8-3. Схема, иллюстрирующая температурный баланс: в диапазоне температур T_1 - T_4 (зона нормотермии) выработка тепла равна теплоотдаче. При температуре среды ниже T организм отдаёт больше тепла, чем вырабатывает (гипотермия). При температуре среды выше T_4 выработка и прирост тепла превышают способности организма освобождаться от тепла с помощью испарения (гипертермия). В диапазоне T_2 - T_3 (термoneйтральная зона) равновесие между теплоотдачей и теплопродукцией может быть установлено за счёт вазомоторных реакций

От этих факторов зависит, ощущает ли испытуемый «температурный комфорт» или ему слишком жарко либо холодно.

Условие комфорта состоит в том, чтобы организм не нуждался в работе механизмов терморегуляции, т.е. ему не требовалось бы ни дрожи, ни выделения пота и кровотоков в периферических органах мог сохранять промежуточную скорость. Это условие соответствует упомянутой выше термoneйтральной зоне (рис. 8-3).

Указанные четыре физических фактора до некоторой степени взаимозаменяемы в отношении ощущения комфорта и потребности в терморегуляции. Иными словами, ощущение холода, вызванное низкой температурой воздуха, может быть ослаблено соответствующим повышением температуры излучения. Если атмосфера кажется душной, то соответствующее ощущение может быть ослаблено путём снижения влажности или температуры воздуха. Если температура излучения низкая

(холодные стены), для достижения комфорта требуется увеличение температуры воздуха. Подобные взаимоотношения между рассматриваемыми факторами позволяют выражать различные их комбинации одним числом (эффективная температура).

Значение комфортной температуры

Диапазон температурного комфорта определяется несколькими факторами: количеством и качеством одежды и уровнем физической активности.

В условиях температурного комфорта средняя температура кожи равна примерно 34 °С, диапазон температурного комфорта составляет:

- для легко одетого (рубашка, трусы, длинные хлопковые брюки) сидящего испытуемого - примерно 25-26 °С при влажности воздуха 50% и равенстве температуры воздуха и стен;
- для обнажённого испытуемого при относительной влажности воздуха 50% - 28 °С;
- при физической работе по мере нарастания затрат физических усилий, комфортная температура снижается. Например, для лёгкой кабинетной работы предпочтительная температура воздуха равна примерно 22 °С.

Диаграмма на рис. 8-4 показывает, как соотносятся значения комфортной температуры, влажности и температуры окружающего воздуха в условиях лёгкой физической работы.

Каждой степени дискомфорта может быть сопоставлено одно значение температуры - эффективная температура. Численное зна-

чение эффективной температуры находят путём проецирования на ось x точки, в которой линия дискомфорта пересекает кривую, соответствующую 50% относительной влажности (ранее шкалу эффективной температуры строили в соответствии с относительной влажностью, равной 100%).

В диапазоне более низких температур влияние влажности оказывается меньше (наклон линий дискомфорта более крутой), поскольку в этом случае вклад испарения в общую теплоотдачу незначителен. Как показано на диаграмме, дискомфорт возрастает с увеличением

string language="ru">string language="ru">

Рис. 8-4. Психометрическая диаграмма, отражающая соотношение между температурой окружающей среды (оперативная температура: взвешенное среднее значение температуры излучения и воздуха) и влажностью, с одной стороны, и температурным дискомфортом - с другой средней температуры и влажности кожи (части поверхности тела, покрытой потом).

Оперативная температура

Когда значения параметров, определяющие максимальную влажность кожи (100%), превышены, тепловой баланс не может больше сохраняться. Таким образом, человек способен выдерживать условия

за пределами этой границы лишь в течение короткого времени; пот при этом стекает ручьями, поскольку его выделяется больше, чем может испариться. Линии дискомфорта, представленные на рис. 8-4, смещаются в зависимости от тепловой изоляции, обеспечиваемой одеждой, скорости ветра и характера физической нагрузки. Когда, например, выполняемая работа требует увеличения интенсивности обменных процессов, предельно выносимая на протяжении продолжительного времени эффективная температура меняется с +40 °C до +33 °C.

Значения комфортной температуры в воде

Когда окружающей средой служит вода, пограничным является слой воды, обладающий по сравнению с воздухом значительно большей теплопроводностью и теплоёмкостью. В воде при заданной температуре от покоящегося тела путём конвекции отводится значительно больше тепла, чем в воздухе.

Когда вода находится в движении, возникающий турбулентный поток вблизи поверхности тела отнимает тепло так быстро, что при температуре воды 10 °C даже сильное физическое напряжение не позволяет поддерживать тепловое равновесие и возникает гипотермия.

Если тело находится в полном покое, для достижения температурного комфорта температура воды должна быть +35-36 °C. Этот нижний предел термонеutralной зоны зависит от толщины изолирующей жировой ткани и колеблется от 31 до 36 °C.

Теплопродукция и размеры тела

Температура тела у большинства теплокровных млекопитающих находится в диапазоне от +36 до +39 °C, несмотря на значительные различия в размерах тела в рассматриваемой группе животных - от мыши, с одной стороны, до слона и кита - с другой. В противоположность этому интенсивность метаболизма (M) зависит от массы тела (m) как её показательная функция: $M = kXm^n$

В двойных логарифмических координатах это соотношение представлено прямой:

$$\lg M = k' + nX \lg m$$

Эмпирически было показано, что показатель степени n равен примерно 0,75 (см. рис. 8-5). Это значит, что величина $M/m^{0,75}$ одна и та же для мыши и для слона, хотя у мыши M на 1 кг массы тела значительно больше, чем у слона. Этот так называемый закон снижения интенсивности обмена веществ в зависимости от массы тела

string language="ru">string language="ru">

Масса тела, кг

Рис. 8-5. Взаимосвязь между интенсивностью обмена веществ и массой тела, представленных в двойных логарифмических координатах. Прямая с показателем угла наклона $n=0,75$ наиболее соответствует экспериментальным данным. Прямая с $n=1$ отражает пропорциональность между интенсивностью обменных процессов и массой тела. Соответственно прямая с $n=0,67$ отражает пропорциональность между интенсивностью обменных процессов и площадью поверхности тела

отражает то, что теплопродукция имеет тенденцию соответствовать интенсивности теплоотдачи в окружающее пространство.

Для данной разницы температур между внутренней средой организма и окружающей средой потери тепла на единицу массы тела оказываются тем больше, чем больше соотношение между поверхностью и объёмом тела, причём последнее соотношение уменьшается с увеличением размеров тела.

РЕГУЛЯЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА

Регуляция температурного гомеостаза осуществляется при участии терморецепторов, центрального контроллера и эффекторных механизмов (рис. 8-6).

string language="ru">string language="ru">

Нарушения

Рис. 8-6. Блок-схема терморегуляции

Терморецепторы

Терморецепторы подразделяют на периферические и центральные (тепловые и холодовые).

- Периферические терморецепторы находятся в коже, кожных и подкожных сосудах, скелетных мышцах и внутренних органах. При относительно постоянной температуре окружающей среды от рецепторов в ЦНС поступают ритмические импульсы, отражающие их тоническую активность. Частота импульсов максимальна для холодовых рецепторов кожи и кожных сосудов при температуре 20-30 °С, а для кожных тепловых рецепторов - при температуре 38-43 °С. При резком охлаждении кожи частота импульсации от холодовых рецепторов возрастает, а при быстром согревании - урежается или прекращается. На такие же перепады температуры тепловые рецепторы реагируют прямо
- противоположно. Число холодовых периферических рецепторов во много раз превышает число тепловых (250 тыс. и 30 тыс.). Центральные рецепторы реагируют на изменение температуры крови, притекающей к нервным центрам. Термочувствительные нейроны расположены в преоптической

области переднего гипоталамуса, причём тепловых структур больше, чем холодочувствительных клеток. Подобные нейроны (с меньшей чувствительностью) обнаружены также в среднем и продолговатом мозге. В то же время спинной мозг исключительно термочувствителен.

Эффекторные структуры

К выходным функциям эффекторов относятся:

- выработка тепла;
- изменение теплоотдачи;
- выделение пота.

Эти функции контролирует по преимуществу нервная система, лишь при долгосрочной адаптации включается эндокринный контроль. Контроль терморегуляции осуществляют соматомоторный отдел ЦНС и симпатический отдел вегетативной нервной системы (рис. 8-7).

string language="ru">string language="ru">

Рис. 8-7. Схема нервного контроля терморегуляторных эффекторных элементов

Симпатический отдел автономной нервной системы контролирует:

- несократительный термогенез (через β -адренорецепторы, медиатор норадреналин);
- теплоотдачу посредством регуляции кровотока (через α -адренорецепторы, медиатор норадреналин; не исключено, и через холинорецепторы);
- потоотделение посредством холинергических симпатических волокон при взаимодействии с М-холинорецепторами.

Соматомоторный отдел ЦНС (медиатор ацетилхолин) контролирует сократительный термогенез.

Центральный контроллер

Ведущую роль в терморегуляции играют структуры гипоталамуса.

- От периферических терморецепторов информация поступает в передний гипоталамус - его преоптическую область. Здесь происходит сравнение полученных с периферии сигналов с активностью центральных термосенсоров, отражающих температурное состояние мозга. Передняя преоптическая область гипоталамуса в терморецепции играет важнейшую роль: 20% её нейронов обладают свойствами терморецепторов.
- На основе интеграции информации из этих источников задний гипоталамус обеспечивает выработку сигналов, управляющих процессами теплопродукции и теплоотдачи. Обнаружены нейроны, активность которых зависит от локального теплового раздражения как преоптической области

гипоталамуса, так и нейронов шейно-грудного отдела спинного мозга. В дорсомедиальной части заднего гипоталамуса у стенки третьего желудочка обнаружен моторный центр дрожи. Он возбуждается при снижении температуры тела даже на доли градуса (регуляция по отклонению). При этом вначале повышается тонус мышц, а затем развивается дрожь. Этот центр связан с моторными центрами спинного и продолговатого мозга.

Химическая и физическая терморегуляция. В различных отделах гипоталамуса обнаружены ядра, влияющие на процесс теплообразования, и ядра, влияющие на теплоотдачу.

- Химическая терморегуляция (усиление теплообразования, мышечная дрожь) контролируется хвостовой частью гипоталамуса. Охлаждение передней преоптической области гипоталамуса ведёт к усилению сократительного и несократительного термогенеза.
- Физическая терморегуляция (сужение сосудов, потоотделение) контролируется передней частью гипоталамуса.

Спинной и продолговатый мозг. Существуют терморегуляторные реакции, осуществляемые спинным и продолговатым мозгом. Видимо, такие механизмы участвуют в «локальной адаптации», при которой развивается повышение устойчивости к охлаждению или нагреванию определённых частей тела (например, шеи или рук) за счёт вазомоторных и потоотделительных реакций.

Высшие структуры головного мозга (в частности, новая кора) также принимают участие в терморегуляции.

Роль желёз внутренней секреции

В осуществлении гипоталамической регуляции температуры тела участвуют некоторые железы внутренней секреции.

- Щитовидная железа во время пребывания в условиях охлаждения выбрасывает в кровь йодсодержащие гормоны, повышающие обмен веществ и, следовательно, образование тепла.
- Надпочечники выделяют в кровь адреналин, усиливающий окислительные процессы в мышцах (увеличивается теплообразование) и суживающий кожные сосуды, уменьшая теплоотдачу. Поэтому адреналин способен вызывать повышение температуры тела (адреналиновая гипертермия).

Температура тела в условиях физической нагрузки

В состоянии покоя физиологические системы, используемые системой терморегуляции, задействованы на 4-6% от своей предельной мощности. Имея такие резервы, организм достаточно легко справляется с перегревом или с переохлаждением (см. рис. 8-8).

Мышечная активность повышает термогенез. Коэффициент полезного действия мышечной деятельности человека составляет от 3 до 20%.

Соответственно 80-97% энергии АТФ превращается в тепло, а дополнительное тепло, связанное с мышечной работой, производится оболочкой тела. Усиление теплопродукции ядром тела при мышечной работе несоизмеримо меньше, чем оболочкой: не более чем в 2,0-2,5 раза по отношению к покою, тогда как оболочка может повышать свою теплопродукцию в 20-30 раз.

В условиях физической нагрузки:

- внутренняя температура повышается;
- средняя температура кожи снижается вследствие вызванного работой выделения и испарения пота;

string language="ru">string language="ru">

Рис. 8-8. Обобщённая модель терморегуляции

- во время работы с субмаксимальной нагрузкой степень повышения внутренней температуры почти не зависит от окружающей температуры в пределах широкого диапазона (15-35 °C), пока происходит выделение пота;
- обезвоживание тела приводит к подъёму внутренней температуры и тем самым лимитирует работоспособность.

Терморегуляторные контуры

Модель терморегуляции приведена на рис. 8-8.

- Стабильный уровень внутренней температуры, достигаемый при работе с субмаксимальной нагрузкой, пропорционален относительной производительности (работоспособности в процентах от индивидуального максимума, выраженного как максимальное потребление кислорода - МПК).
- Способы физической терморегуляции (проведение, конвекция, радиация и потоиспарение) предполагают передачу тепла с поверхности тела, но отвести тепло от мышц на периферию, в кожные кровеносные сосуды, по анатомическим соображениям сразу невозможно, поскольку вены несут кровь только к ядру тела. Отсюда следует, что тепло от работающих мышц по венозному кровотоку должно нагреть сначала ядро тела, а затем с артериальным кровотоком от ядра тепло может быть передано в кожное русло для выведения из организма способами физической терморегуляции.
- Получается внешне парадоксальная ситуация: производитель тепла - мышцы не могут быть устойчиво разогреты без предварительного разогрева ядра тела. Точно также мышцы не могут охладиться самостоятельно, а лишь через охлаждение ядра тела. Этот феномен следует учитывать при обосновании оптимального времени разминки у спортсменов. С уверенностью можно считать, что мышцы «разогреты» только в том случае, если повысилась температура всего ядра тела.

АДАПТАЦИЯ К ГИПЕР- И ГИПОТЕРМИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

В адаптации человека к работе в жарких условиях среды принято выделять несколько фаз.

Фазы адаптации к гипертермии

Первая фаза, часто называемая «сверхкомпенсацией», по механизму аналогична механизму стадии «тревоги» общего адаптационного синдрома Селье. Длительность этой фазы составляет 7-9 дней.

- Частота сердечных сокращений и артериальное давление. В сердечно-сосудистой системе из-за резкого расширения периферических кровеносных сосудов происходит компенсаторное увеличение сердечного выброса, преимущественно за счёт нарастания ЧСС. АД падает в силу того, что расширение сосудов не успевает компенсироваться увеличением ОЦК. Падение АД может усиливаться в результате рабочей гемоконцентрации или гемоконцентрации, вызванной усиленным потоотделением.

- Потоотделение. Наиболее важный сдвиг, возникающий в ходе тепловой адаптации - изменение интенсивности потоотделения, которая может возрастать в два раза и у хорошо тренированных людей составлять 1-2 л/ч. Выделение пота начинается при более низкой средней кожной и внутренней температурах; следовательно, снижается температурный порог активации регуляторных механизмов.

Вторая фаза характеризуется изменением мощности реакции заинтересованных систем.

- Благодаря этим изменениям уменьшается средняя температура тела при данной тепловой или рабочей нагрузке, что служит защитой от чрезмерного учащения сердцебиения и увеличения периферического кровотока, т.е. от теплового удара.

- Адаптация связана также со значительным уменьшением содержания ионов в поте, благодаря чему уменьшается вероятность шока вследствие потери ионов.

- При высокой тепловой нагрузке объём плазмы крови и концентрация гемоглобина снижаются, что приводит к уменьшению венозного притока и объёма крови, выбрасываемого сердцем при сокращении. В динамике тепловой адаптации эти неблагоприятные изменения в кровеносной системе нейтрализуются за счёт:

- увеличения объёма плазмы и содержания в ней белков;

- понижения чувствительности центральных регулирующих теплосодержание структур.

Третья фаза (фаза энергетической адаптации) наступает через 20-30 дней пребывания в жаре.

Четвёртая фаза - стойкие изменения нервной и гуморальной регуляции, налагающиеся на энергетические отношения в покое и при выполнении мышечной работы.

Толерантная адаптация к гипертермии

Другая форма приспособления существует у жителей тропиков, круглосуточно находящихся в условиях высокой температуры окружающей среды. Это толерантная адаптация, особенность которой состоит в следующем:

- интенсивность реакции у жителей тропиков не столь высока, чтобы вызывать потоотделение;
- температурный порог потоотделения сдвинут в сторону более высокой температуры тела, в результате чего аборигены меньше потеют при ежедневной тепловой нагрузке.

ХОЛОДОВАЯ АДАПТАЦИЯ

Многие виды животных адаптируются к холоду благодаря отращиванию меха, т.е. у них усиливается термоизоляция. Другой распространённый способ холодовой адаптации - недрожательный термогенез в бурой жировой ткани. У человека эти механизмы отсутствуют, поэтому приспособление к холоду происходит путём толерантной и метаболической адаптации.

Толерантная адаптация. В условиях продолжительного воздействия холода у людей развивается толерантная адаптация: температурный порог дрожи и кривые соответствующих метаболических терморегуляторных реакций смещаются в сторону более низких значений температур, вследствие чего может возникать умеренная гипотермия.

Температурный порог дрожи может быть сдвинут в сторону более низких значений всего за несколько дней, если периодически подвергать испытуемых холодовому стрессу продолжительностью от 30 до 60 мин. При этом температурный порог механизмов, ответственных за выведение из организма излишков тепла (у людей - выделение пота), остаётся неизменным. Это расширение межпороговой зоны делает терморегуляцию более экономичной, что, однако, достигается за счёт снижения её точности. Метаболическая адаптация. При длительном пребывании на холоде наиболее эффективна другая форма адаптации, при которой повышается интенсивность основного обмена - метаболическая адаптация (рис. 8-9).

string language="ru">string language="ru">

Рис. 8-9. Механизмы адаптации при хроническом холодовом стрессе

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ

Для регулирования температуры тела при мышечной работе, особенно в жарких условиях среды, принципиальное значение имеет то обстоятельство,

что система терморегуляции не имеет принадлежащих только ей исполнительных органов.

Сердечно-сосудистая система

Аппарат кровообращения и система крови, перераспределяющие тепло внутри организма и выносящие тепло в кожные сосуды (что усиливает теплоотдачу всеми возможными физическими способами), выполняют эту работу дополнительно к основным функциям, используя свои резервы.

- В любых внешних условиях во время напряжённой мышечной деятельности (и сопутствующей высокой теплопродукции)

сердечно-сосудистая система должна не только удовлетворять повышенные метаболические запросы мышц (прежде всего - в транспорте кислорода), но и обеспечивать «эвакуацию» тепла из активных тканей на поверхность тела для охлаждения.

- С увеличением накопления тепла доля сердечного выброса, направляемая в сосуды кожи, прогрессивно увеличивается. В экстремальных условиях рабочей гипертермии кожный кровоток может увеличиваться в 20 раз и достигать 20% сердечного выброса.
- Одновременно кожный кровоток фактически предопределяет функциональные способности потовых желёз, обеспечивая адекватный «подвод» жидкости к ним. При уменьшении кожного кровотока в результате дегидратации потоотделение снижается.
- Для трофического обеспечения мышечных сокращений увеличение кожного кровотока бесполезно: возникают конкурентные отношения между центрами регуляции кровообращения для метаболических нужд организма и центром терморегуляции за контролем над системой крови и кровообращения. Чем мощнее и продолжительнее работа, тем больше тепла производят мышцы и тем больше потребность в кожном кровотоке для нужд терморегуляции.

Система дыхания

При интенсивной мышечной работе центры терморегуляции и двигательные центры начинают конкурировать за доминирование над респираторной системой с противоположными задачами. Центру терморегуляции необходимо частое поверхностное дыхание, тогда как гипоксия мышц диктует противоположный тип дыхания. Результат определяется суммой условий: характером и длительностью работы, условиями среды, исходным теплонакоплением и др.

Потовые железы

Динамика потоотделения при мышечной работе имеет тесную связь с водно-солевым балансом организма.

Известен феномен «утомления» потовых желёз при мышечной работе, который заключается в отказе потовых желёз во время длительной мышечной работы, что приводит к росту температуры тела и последующему тепловому удару. Время наступления «утомления» потовых желёз широко варьирует и зависит от нарастающей дегидратации организма. В свою очередь дегидратация зависит от темпера-

туры внешней среды, мощности и длительности работы, а в конечном итоге - от скорости потоотделения.

При скорости потоотделения 8-9 л/час «утомление» потовых желёз наступает уже через 15-20 мин. В этом случае потоотделение испытывает конкурирующие воздействия: с одной стороны, от центров терморегуляции, с другой - от центров, ответственных за регуляцию водно-солевого гомеостазиса организма.

Очевидно, что феномен «утомления» потовых желёз - только следствие нарастающей дегидратации организма и последняя попытка уменьшить её темпы.

На рис. 8-10 представлена динамика изменения некоторых вегетативных показателей системы терморегуляции взрослого тренированного человека при работе в термонеutralных условиях и в условиях внешней гипертермии, характеризующая предельные возможности противостояния нарастающему теплоскоплению, вызванному мышечной работой в нормо- и гипертермических условиях среды.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 8-10. Динамика изменения глубокой температуры тела при работе до отказа 10 легкоатлетов: в условиях высокой температуры среды (1) и в термонеutralной зоне (2); скорости потоотделения (3) и средней температуры тела (4). По оси абсцисс: справа - значения для средней температуры, слева - для ректальной

При работе в термонеutralной зоне температура ядра, выйдя на заданный уровень, пропорциональный мощности работы, к 25-й минуте остаётся относительно стабильной, имея небольшой «дрейф» в сторону повышения, который обусловлен.

- Во-первых, нарастающей дегидратацией, в результате чего повышается вязкость крови и уменьшается производительность сердечно-сосудистой системы по метаболическому обеспечению мышечной деятельности. Соответственно, уменьшаются возможности центра терморегуляции по использованию сердечнососудистой системы для своих целей.
- Во-вторых, накоплением продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) вследствие длительной мышечной работы и блокированием ими части мембран митохондрий, что снижает эффективность окислительного

фосфорилирования, приводя к компенсаторным количественным сдвигам в кислородтранспортной системе.

При работе в гипертермических условиях действуют те же факторы, но большей интенсивности, поэтому время устойчивого температурного состояния ядра ещё более ограничено.

Наконец, в условиях гипер- и нормотермии наступает критический уровень дегидратации, когда её дальнейшее нарастание может вызвать необратимые последствия в нормальном снабжении всех тканей нутритивными веществами и кислородом. С этого момента потовые железы «ускользают» от регулирующего влияния центров терморегуляции, что приводит к резкому снижению скорости потоотделения. Следствием этого является почти экспоненциальное накопление тепла, делающее невозможным продолжение мышечной работы такой мощности.

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ

Имеющиеся отличия в терморегуляторных реакциях детей и лиц пожилого возраста от взрослых (первого и второго зрелого возраста) объясняются отличиями в их теплопродукции в покое, разными возможностями циркуляторной системы, разными соотношениями между массой тела и его поверхностью.

Терморегуляция у новорождённых

У новорождённых детей все терморегуляторные реакции (усиленный термогенез, вазомоторные реакции, выделение пота, поведенческие

реакции) могут включаться сразу после рождения, но термогенез у детей, как правило, обеспечивается недрожательным путём за счёт наличия бурого жира.

Выработка тепла у младенцев может повышаться без участия механизма дрожи на 100-200% по сравнению с её уровнем в условиях покоя. Только в случае предельного холодового стресса этот механизм термогенеза дополняется дрожью.

Процесс теплоотдачи у новорождённых интенсивнее в силу ряда причин (рис. 8-11).

string language="ru">string language="ru">

Рис. 8-11. Особенности теплоотдачи у новорождённых: S - поверхность тела; V - объём тела

- Соотношение между поверхностью (S) и объёмом (V) тела у доношенного новорождённого имеет особенности: превышает примерно в три раза такое же соотношение у взрослого.
- Поверхностный слой тела имеет небольшую толщину и изолирующая прослойка жира весьма тонка.

- Даже при максимальном сужении сосудов у новорождённого теплоотдача из организма во внешнюю среду не может уменьшиться в такой степени, как у взрослого человека.

Для сохранения температурного гомеостаза организм должен увеличивать выработку тепла в случае доношенного новорождённого в 4-5 раз на единицу массы тела, а в случае недоношенного новорождённого (1000-1500 г) - соответственно в 10 раз.

Поддержание температурного баланса при минимальной интенсивности обменных процессов у новорождённого оптимально при температуре окружающей среды не ниже 32-34 °С.

Если температура ниже указанной границы, то для поддержания в организме температурного равновесия требуется терморегуляторная выработка тепла. Это означает, что нижняя граница термонейтральной зоны (T_2) смещается в сторону более высокой температуры окружающей среды. Нижний предел регулируемого диапазона (T_1) также смещается в направлении более высоких температур: для доношен-

ного новорождённого этот предел составляет примерно 23 °С, а для обнажённого взрослого - примерно 0 °С. Новорождённые дети легко переносят понижение температуры тела на 3-4 °С.

Однако в пределах ограниченного контролируемого диапазона температура тела у новорождённого регулируется так же точно, как и у взрослого, поскольку пороговые температуры для реакции сужения сосудов и для термогенеза «подстроены» в соответствии с размерами тела.

- У недоношенных новорождённых с уменьшением размеров тела значения T_1 и T_2 смещаются в сторону более высоких температур и сближаются между собой. Следовательно, у недоношенных новорождённых младенцев с очень низкой массой тела терморегуляция неэффективна. До тех пор, пока они не прибавят достаточно в весе, их следует держать в термостатируемых боксах (инкубаторах).
- Чувствительность кожных терморецепторов у новорождённых повышена, прирост теплопродукции наблюдается уже при температуре воздуха +31 °С.
- Возможности новорождённых увеличивать теплоотдачу испарением ограничены, поэтому повышение температуры окружающей среды быстро приводит к росту температуры тела и превышение более чем на 2 °С опасно для их жизни. Совершенствование терморегуляции осуществляется за счёт всех указанных механизмов и заканчивается к 17 годам жизни.

Терморегуляция у пожилых людей

Старение снижает эффективность всей системы терморегуляции: ослабевают ответы теплопродукции, реакции перераспределения кровотока и потоотделения в ответ на изменение температуры окружающей среды.

У пожилых людей температура внутренней среды организма может поддерживаться на уровне 34-35 °С. Механизм дрожи при этом не включается. Это связано с тем, что функциональная система терморегуляции «перепрограммирована» у пожилых людей на поддержание более низкой температуры (К. Брюк). Снижение двигательной активности (и теплопродукции) приводит к повышению предпочитаемой температуры среды. Субъективно пожилые люди хуже переносят снижение температуры окружающей среды, чем её повышение. При действии холода у пожилых людей метаболические реакции и скорость развития вазоконстрикции в коже снижены;

вероятность гипотермии возрастает. Эти особенности выражены значительно меньше у женщин. В глубокой старости снижается величина основного обмена и температура ядра тела (иногда до 35 °С).

Функциональная система по обеспечению температурного гомеостаза работает в условиях постоянной нестабильности составляющих её подсистем.

- Система терморегуляции - наименее надёжная из функциональных систем в онтогенезе (вплоть до первого зрелого возраста), поскольку составлена из элементов с пониженной надёжностью.
- Наиболее стабильно состояние системы терморегуляции в первом и втором зрелом возрасте.
- Начинаясь гетерохронная инволюция функций с конца второго зрелого возраста вновь приводит к прогрессирующему понижению надёжности терморегуляции.

В разные периоды онтогенеза максимальные возможности системы терморегуляции лимитированы различными физиологическими системами. Это делает неэффективным применение и для взрослых, и для детей, а особенно для лиц пожилого возраста единой методики адаптации к условиям жары или холода.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дайте определение гомойотермных и пойкилотермных организмов.
2. Что такое термoneйтральная зона? Как на неё оказывают влияние факторы окружающей среды?
3. Дайте определение и характеристику внутреннего и наружного потоков тепла.
4. Как теплопродукция зависит от размеров тела?
5. Какие вы знаете терморепторы?

6. Какую роль в терморегуляции играет симпатический отдел автономной нервной системы и соматомоторный отдел ЦНС?
7. Какие механизмы терморегуляции человека при мышечной работе вы знаете?
8. Назовите фазы адаптации организма к гипертермии.
9. Что лимитирует возможности терморегуляции?
10. Какие особенности терморегуляции у новорождённых и пожилых людей вы знаете?

ГЛАВА 9. ЭНДОЭКОЛОГИЯ

В главе рассмотрен метаболический статус организма, участвующие в детоксикации органы и системы, основные механизмы детоксикации и фазы детоксикации в ЖКТ, печени, почках, лёгких.

Эндотоксемия - синдром, характеризующийся избыточным содержанием в крови токсичных продуктов и биологически активных веществ (БАВ). Эндотоксемия наблюдается и при нормальном физиологическом состоянии, связанном с транспортировкой эндотоксинов к органам детоксикации и выведения. Здоровый организм способен нейтрализовать действие эндогенных токсинов и не допустить клинических проявлений. К факторам, влияющим на развитие эндогенной интоксикации, относятся:

- недостаточность детоксикационной, экскреторной и синтетической функций печени; экскреторной функции почек и кишечника; нереспираторных функций лёгких;
- иммунологическая недостаточность;
- угнетение систем естественной резистентности и антиоксидантной защиты.

Классификация эндотоксинов, приводящих к развитию эндотоксемии, приведена на рис. 9-1.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 9-1. Классификация эндотоксинов (С.А. Симбирцев и Н.А. Беляков, 1994 г.)

Метаболический статус определяется количественным и качественным соотношением веществ средней молекулярной массы, рас- пределённых в биологических средах организма.

К веществам средней молекулярной массы относят:

- регуляторные и нерегуляторные пептиды;
- вещества низкой и средней молекулярной массы небелкового происхождения - продукты метаболизма;
- вещества извращённого метаболизма;
- токсичные компоненты полостных сред организма.
- Концентрация веществ средней молекулярной массы в крови здоровых людей достаточно стабильна. Она значительно возрастает при многих патологических и предпатологических состояниях.
- Вещества средней молекулярной массы подразделяют на катаболические и анаболические. Они распределяются в крови между белками-носителями плазмы и гликокаликсом эритроцитов, способными транспортировать эти

вещества. Основная масса средномолекулярных веществ удаляется из организма через почки путём клубочковой фильтрации.

- Длительное увеличение пула веществ средней молекулярной массы приводит к повреждению клеток почечных канальцев и даже к их гибели.

- Проявления биологической активности веществ средней молекулярной массы весьма разнообразны:

- нейротоксическая активность;
- участие в развитии состояния вторичной иммунодепрессии (замедляют реакции бластотрансформации и розеткообразования лимфоцитов);
- токсическое действие на эритропоэз;
- угнетение синтеза белка;
- изменяют проницаемость мембран и мембранный транспорт;
- нарушают тканевое дыхание;
- вызывают нарушение микроциркуляции и лимфодинамики с развитием шокового лёгкого и отёка лёгких.

По мере нарастания интоксикации происходит значительное увеличение веществ катаболического пула (рис. 9-2).

Степень депонирования токсических метаболитов тем выше, чем ниже функциональная активность органов детоксикации и выведения.



Рис. 9-2. Накопление веществ катаболического пула

МЕХАНИЗМЫ ДЕТОКСИКАЦИИ

В основе биологической детоксикации лежат три основных механизма.

- Биологическая трансформация токсичных субстанций - ведущее значение в её реализации имеет монооксигеназная система печени.
- Системы связывания и транспорта токсичных субстанций, обусловленные функционированием иммунной системы, адсорбционными возможностями эритроцитов и транспортными способностями сывороточных альбуминов.
- Элиминация токсичных субстанций, что обеспечивается функционированием почек, печени, лёгких, ЖКТ, кожи.

Стадии эндотоксемии

Определение степени и тяжести эндогенной интоксикации основано преимущественно на выраженности токсемии. Выделяют четыре стадии эндотоксемии.

- I стадия (лёгкая степень): начальная гиперкоагуляция, умеренное увеличение БАВ и активация ПОЛ, гиперактивация антиоксидантной активности супероксиддисмутазы, активация системы кровообращения; компенсированный респираторный ацидоз; умеренное угнетение клеточного звена и умеренная активация гуморального звена иммунитета.
- II-IV стадии эндогенной интоксикации (от средней тяжести до крайне тяжёлой) характеризуются нарастанием гиперкоагуляции, сначала высоким ростом БАВ, затем их снижением, гиперактивацией ПОЛ с истощением антиокислительной активности, падением активности системы кровообращения, явлениями декомпенсированного метаболического ацидоза, угнетением клеточного и гуморального звеньев иммунитета. Развивающаяся эндогенная интоксикация ведёт к нарушению периферической микроциркуляции и предполагает задержку токсинов в тканях.

Факторы, способствующие и инициирующие развитие эндогенной интоксикации:

- ишемические нарушения в органах;
- нарушения функции органов детоксикации и экскреции (печень, почки, лёгкие, ретикуло-эндотелиальная система, кишечник);
- повреждения эпителиальных покровов и массивные разрушения тканей;
- экзотоксикозы;
- иммуносупрессия и недостаточность системы неспецифической резистентности, включая фагоцитоз;
- инфекции;
- свободно-радикальное окисление.

Свободные радикалы

В формирование процесса эндогенной интоксикации вносит существенный вклад такой неспецифический процесс, как свободно-радикальное окисление.

В тканях организма постоянно образуются свободные радикалы, в высоких концентрациях оказывающие повреждающее действие на клеточные мембраны. Основным субстратом свободно-радикального окисления служат ненасыщенные липиды.

Нормальный уровень процессов свободно-радикального окисления регулируется антиоксидантной системой, обеспечивающей связывание и модификацию свободных радикалов.

В состав антиоксидантной системы входят витамины, ферменты, природные антиоксиданты и другие сложные вещества. Особое место в антиоксидантной системе занимают естественные антиоксидантные ферменты и соединения: супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионредуктаза, трансферрин, глутатион.

- 2 - эпителиальный уровень (структуры эпителиальной выстилки):

- многослойный плоский эпителий (механическая функция в полости рта, пищевода);

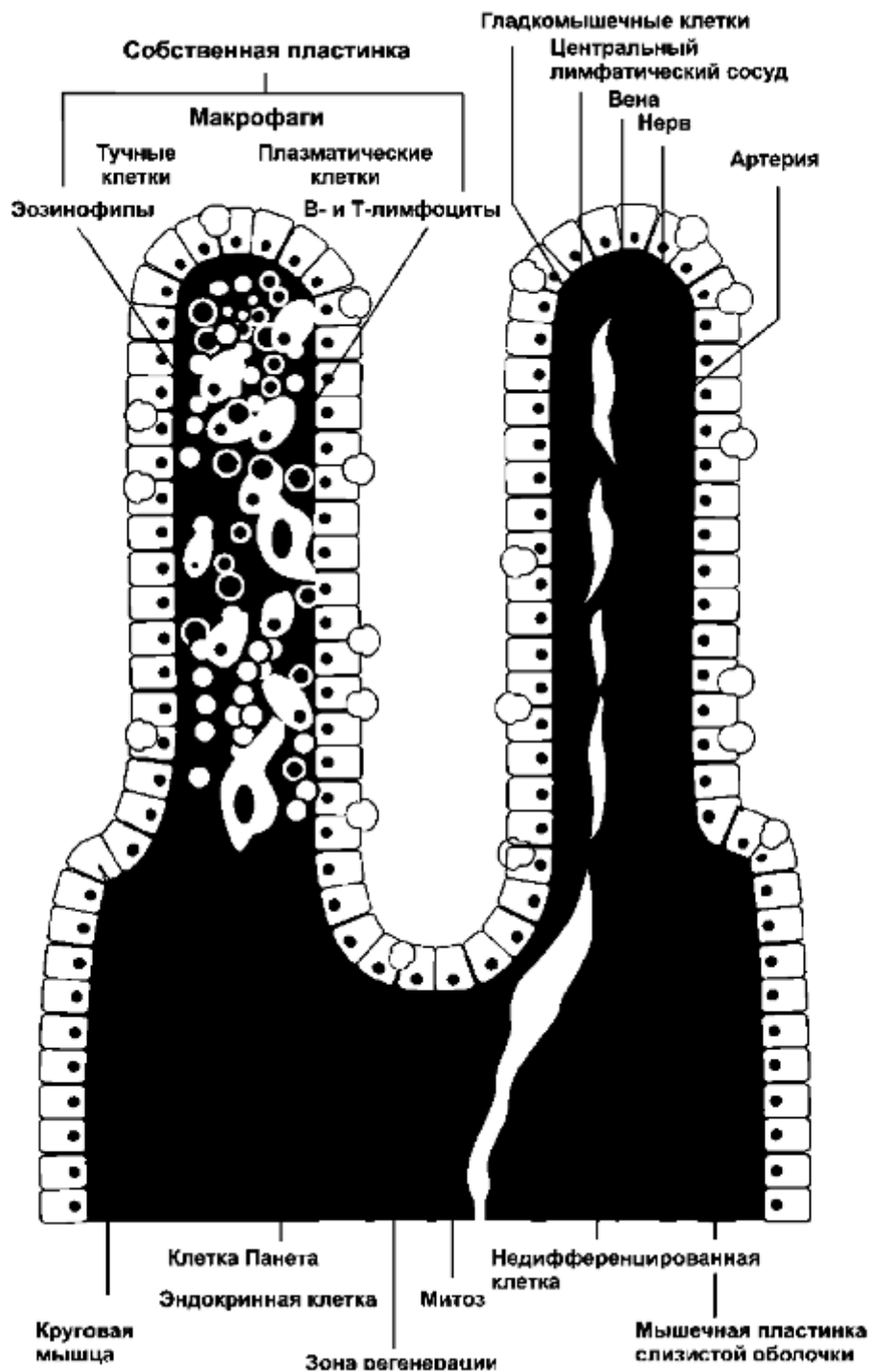


Рис. 9-3. Строение эпителия слизистой оболочки кишечника

- преимущественно секретирующий эпителий (желудок);
- преимущественно всасывающий эпителий (кишечник). Функционирование этого уровня зависит от состояния эпите-
- лиоцитов, а также состояния базальной мембраны, пропускающей различные вещества и микроорганизмы, и наличия внутриэпителиальных иммунокомпетентных клеток. 3 - соединительнотканый уровень:
- основное межклеточное вещество, волокна и синтезирующие клетки;

- иммунокомпетентные клетки:

- фагоциты (микро-макрофаги);
- клетки, секретирующие неспецифические факторы защиты и БАВ (тучные клетки, эозинофилы);
- клетки, синтезирующие специфические факторы защиты (плазматические клетки);
- структуры стенок сосудов микроциркуляторного русла (перитциты, базальная мембрана, эндотелий).

Взаимосвязь этих трёх уровней осуществляется транспортом клеток и секретов: из 2-го в 1-й, а из 3-го во 2-й.

Полость рта и пищевод способны сохранять свои барьерные функции при условии механической непрерывности, что часто нарушается при разрыхлении слизистой полости рта под влиянием различных патогенных факторов.

Желудок, как элемент пищеварительного барьера, весьма уязвим, так как его защитный слой представлен одним слоем секретирующего эпителия. В формировании барьерной функции кишечника играют роль, кроме слизистой, пристеночные микроорганизмы, которые тесно взаимодействуют с эпителиоцитами. Здесь все три уровня защиты наиболее лабильны.

Когда просветный барьер оказывается несостоятельным, микроорганизмы могут проникать в эпителиальный пласт, разрушая клеточные пространства. Интенсивность воздействия токсичных веществ повышается при имеющихся преморбидных нарушениях функции основных систем детоксикации, особенно печени, почек и иммунитета (ситуационная токсичность), а также у больных пожилого и старческого возраста. Аналогичные токсические эффекты развиваются тогда при концентрации вещества в крови меньшей, чем пороговая. Во всех этих случаях возникает необходимость повышения эффективности и поддержки работы общей системы естественной детоксикации организма для ускоренного его очищения.

ПЕЧЕНЬ

Разработка проблемы увеличения хронических поражений печени химической этиологии в структуре общей заболеваемости и смертности имеет важное практическое значение.

Согласно материалам ВОЗ, частота токсических поражений печени в мире с 1960 г. увеличилась в 6-8 раз, а продолжающееся увеличение поступления ксенобиотиков в окружающую среду будет способствовать дальнейшему росту поражений печени.

ДЕЗИНТОКСИКАЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ ПЕЧЕНИ

В сложившихся условиях обитания организм человека приспосабливается к токсическому действию чужеродных веществ путём использования сформировавшихся в процессе эволюции барьерных механизмов (рис. 9-4).

Специальная ферментная система, при участии которой протекает биотрансформация жирорастворимых ксенобиотиков, попадающих в организм через кровь, ЖКТ, лёгкие или кожу, получила название многоцелевых оксидаз (микросомальных монооксигеназ).

Процессы биотрансформации осуществляются главным образом с помощью энзимных систем печени, которые участвуют в обезвреживании ксенобиотиков и встроены в мембраны гладкого эндоплазматического ретикулума гепатоцитов. Это позволяет рассматривать эндоплазматический ретикулум гепатоцитов в качестве метаболического барьера, играющего важную роль в защите внутренней среды организма.

Набор микросомальных ферментов печени обладает весьма большой мощностью и относительно невысокой специфичностью, что позволяет им участвовать также в процессах метаболизма биохими-

string language="ru">string language="ru">

Рис. 9-4. Схема функционального взаимодействия основных барьерных систем, обеспечивающих охрану чистоты внутренней среды организма

ческих субстратов эндогенного происхождения: гормонов, жирных кислот, холестерина, жёлчных кислот, простагландинов. Химические вещества обезвреживаются в два этапа:

- путём ферментативного окисления, восстановления, метилирования, ацетилирования, гидролиза;
- последующей конъюгации с рядом веществ (глюкуроновой, серной и уксусной кислотами, глицином, таурином и др.).

Большинство реакций биотрансформации связано с процессами окисления, где главным ферментом является цитохром P450. В ферментативном каскаде многоцелевых оксидаз он играет роль конечной оксидазы, принимающей электроны, необходимые для последующей активации кислорода, используемого для окисления метаболизируемых субстратов. Содержание данного фермента в организме составляет около 1% печёночных белков или 20% белка эндоплазматического ретикулума гепатоцитов.

Последовательность метаболических превращений чужеродных веществ в организме осуществляется следующим образом.

- В результате первой фазы биотрансформации ксенобиотиков образуются метаболиты, характеризующиеся большой полярностью за счёт содержания в них нуклеофильных группировок.
- Далее метаболиты ксенобиотиков могут вступать во вторую фазу биотрансформации - реакции конъюгации (глюкуронидизацию,

сульфатирование, метилирование, ацетилирование и т.д.). Образующиеся при этом конъюгаты относительно легко растворимы в воде и быстро экскретируются из организма через почки и жёлчные пути. Они не проявляют физиологической активности, благодаря чему эту фазу биотрансформации называют истинной детоксикацией.

При биотрансформации ксенобиотиков происходит образование активной формы кислорода, что способствует возрастанию активности ПОЛ. Это может привести к нарушению структурно-функциональной целостности клеточных мембран.

В данном контексте важно выделить ещё одну функцию печени: депонирование и перераспределение эндогенных антиоксидантов, способствующих гашению процессов ПОЛ, о чём свидетельствует достоверное снижение показателей антиокислительной активности липидов на фоне ухудшения функционального состояния печени в процессе адаптации при её поражении.

Таким образом, поддержание химического гомеостаза организма осуществляется с помощью трёх взаимосвязанных механизмов:

- системы микросомальных монооксигеназ;
- реакций конъюгации;
- системы ферментативных и неферментативных антиоксидантов, обеспечивающих купирование токсического действия активных форм кислорода и перекисей липидов.

На фоне структурных повреждений паренхимы печени и её функциональной недостаточности активность микросомальных ферментов гепатоцитов снижается, что может привести к неполному обезвреживанию эндогенных продуктов метаболизма и, следовательно, к накоплению в органах и тканях организма соединений, предрасполагающих к возникновению токсических и аллергических поражений. Известно, что незавершённый метаболизм ряда белковых структур, фармакологических препаратов и других низкомолекулярных химических соединений в печени может вести к возникновению общих и местных аллергических реакций в организме и развитию интоксикации.

Длительное напряжение защитных биотрансформационных механизмов печени у лиц, постоянно контактирующих с вредными химическими веществами, может с течением времени создавать благоприятную почву для срыва компенсаторно-приспособительных процессов в печени и развития в ней и в функционально взаимодействующих с нею органах патологических изменений.

Увеличение частоты нарушений функционального состояния печени наблюдают у лиц, работающих:

- на производстве стирола и метилметакрилата;

- акрилонитрильного каучука;
- в порошковой металлургии;
- в условиях повышенных концентраций сероуглерода;
- нефтехимических предприятий;
- у работников сельского хозяйства, контактирующих с кормовыми добавками, с пестицидами и ядохимикатами;
- у пилотов и техников, занятых на авиационно-химических работах;
- на других видах производств, связанных с воздействием на организм различных химических веществ.

Роль печени в компенсаторно-приспособительных реакциях организма

Участие печени в осуществлении и регулировании всех основных звеньев межклеточного обмена определяет её важную роль в поддержании гомеостаза. Именно эта сторона деятельности печени представляется весьма значительной для функционирования организма в экстремальных условиях окружающей среды (рис. 9-5).

Факторы окружающей среды Химические Физические Психические Биологические

string language="ru">string language="ru">

Рис. 9-5. Схема участия печени в компенсаторно-приспособительных реакциях организма

- Роль печени в обмене белков.
 - В печени синтезируются 95% альбуминов, 85% глобулинов, 100% фибриногена, транскортин, трансферрин, церулоплазмин, важнейшие белки свёртывания крови.
 - Большинство белков-ферментов, оказывающих регулирующее действие на многие стороны обменных процессов в организме, также синтезируется или активируется в печени. Кроме того, печени принадлежит ведущее место в синтезе гликопротеидов.
- Роль печени в углеводном и липидном обмене.
 - Печень принимает участие в образовании глюкозы, в метаболизме жирных кислот (интенсивный синтез и окисление), в преобразовании жирных кислот в триглицериды и фосфолипиды.
 - Печень является главным местом формирования основной транспортной формы липидов - липопротеидов, триглицеридов, в значительной мере хиломикронов, а также синтеза и регулирования активности ферментов, участвующих в метаболизме липопротеидов. Это относится к образованию

как липопротеидов очень низкой плотности, так и липопротеидов высокой плотности.

- Все этапы обмена холестерина (синтез, ассимиляция, этерификация, окисление, распад и выделение из организма) осуществляются в печени. В печени также протекает синтез холестеринэстеразы и лецитин-холестерин-ацилтрансферазы, обеспечивающих процесс этерификации холестерина.

Таким образом, важное значение печени в межорганных и межсистемных взаимодействиях организма не подлежит сомнению, поскольку от характера протекания и надёжности осуществляемых в печени процессов функционального синтеза пластических и энергетических веществ в значительной мере зависит полноценное функционирование других органов и систем и приспособление организма к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды.

Роль печени в адаптационных реакциях

Процесс адаптации к экстремальным влияниям окружающей среды закономерно сопровождается увеличением потребности в энергетическом обеспечении функций организма. Энергообеспечение организма осуществляют несколько путей: распад гликогена, глюконеогенез и активизация липидного обмена.

Печень является единственным органом, который выделяет глюкозу для обеспечения энергией других органов и систем организма, в том числе скелетных и сердечной мышц, а также мозга и нервных структур, которые используют около 70% глюкозы, выделяемой печенью.

В аварийную фазу стрессорного напряжения происходит относительно быстрое повышение уровня глюкозы в крови, величина кон-

центрации которой зависит от запасов гликогена в печени. Фермент глюкозо-6-фосфатаза, регулирующий распад гликогена, содержится в основном в печени, где при его участии происходит образование глюкозы «на экспорт».

В печени осуществляется также пентозный цикл, который играет важную роль в пластическом и энергетическом обеспечении функций организма. Активация углеводпродуцирующей функции печени - универсальный механизм энергообеспечения - закономерно наблюдается при адаптации организма к стрессу. Другой важный механизм обеспечения организма энергией - глюконеогенез.

В качестве дополнительных источников исходного материала для ресинтеза расходуемых организмом гликогена и глюкозы выступают цикл Кори (преобразование в печени в гликоген и глюкозу почти 80% молочной кислоты, накапливающейся в организме при интенсивной мышечной работе и при воздействии холода) и аланиновый цикл (из пирувата образуется аланин, который, как и лактат, используется в глюконеогенезе).

Печень принимает участие в регулировании и контроле соотношения между уровнем потребления и синтеза жиров в организме и процессами образования их резервов в других тканях. Важно подчеркнуть, что жир в организме человека - главный запасной источник энергии, а процессы адаптации организма к различным экстремальным факторам среды и длительным нагрузкам, как правило, сопровождаются активацией жирового обмена.

Роль синтетической деятельности печени существенно возрастает при следующей фазе стресса - фазе резистентности, когда значительно повышается потребность организма в структурных липидах и белках.

Эта фаза адаптационного синдрома, в противоположность первой, характеризуется усилением анаболических процессов. Для осуществления восстановительных процессов большое значение имеют синтезируемые в печени фосфолипиды и холестерин - важные структурные компоненты клеточных биомембран.

Пластическое обеспечение реакций восстановления осуществляется посредством синтеза в гепатоцитах белков, в частности, альбуминов. Этот резерв может быть весьма значителен, если учесть, что печень человека в течение суток способна синтезировать 40-50 г альбумина.

Особое значение печени в осуществлении компенсаторно-приспособительных реакции организма подчёркивается тем, что гепатоци-

ты, в отличие от клеток других органов, обладают полным набором ферментов, участвующих в обмене аминокислот.

В третью фазу адаптационного синдрома может возникать истощение и снижение обеспечивающей деятельности печени и тем самым создаются предпосылки для возникновения предпатологических изменений как в самой печени, так и других органах и тканях в результате длительно поддерживаемого напряжения синтетических функций печени.

ПОЧКИ

В процессе метаболизма белков и нуклеиновых кислот образуются различные продукты азотистого обмена (мочевина, мочевая кислота, креатинин и др.).

Экскреторная функция почек

Почки играют ведущую роль в выделении из крови нелетучих конечных продуктов обмена и чужеродных веществ, попавших во внутреннюю среду организма.

Мочевая кислота в почках фильтруется в клубочках, а затем реабсорбируется в канальцах; часть мочевой кислоты секретируется клетками в просвет нефрона.

Образующийся в течение суток креатинин, источником которого служит креатинфосфорная кислота, выделяется почками. Его суточная экскреция

зависит не столько от потребления мяса с пищей, сколько от массы мышц тела. Креатинин, как и мочеви́на, свободно фильтруется в почечных клубочках, и с мочой выводится весь профильтровавшийся креатинин.

Помимо перечисленных, имеется много разнообразных веществ, постоянно удаляемых почками из крови: гормоны (глюкагон, паратгормон, гастрин), ферменты (рибонуклеаза, ренин), производные индола, глюкуроновая кислота и др.

Существенно, что физиологически ценные вещества при их избытке в крови начинают экскретироваться почкой. Это относится как к неорганическим, так и к органическим веществам - глюкозе, аминокислотам. Повышенная экскреция этих веществ может в условиях патологии наблюдаться и при нормальной концентрации в крови, когда нарушена работа клеток, реабсорбирующих то или иное профильтровавшееся вещество из канальцевой жидкости в кровь.

Метаболическая функция почек

Почки участвуют в обмене белков, липидов и углеводов. Данная функция обусловлена участием почек в обеспечении постоянства концентрации в крови ряда физиологически значимых органических веществ.

- В почечных клубочках фильтруются низкомолекулярные белки и пептиды. Клетки проксимального отдела нефрона расщепляют их до аминокислот или дипептидов и транспортируют через базальную плазматическую мембрану в кровь. Это способствует восстановлению в организме фонда аминокислот, что важно при дефиците белков в рационе. При заболеваниях почек эта функция нарушается.
- Почки способны синтезировать глюкозу путём глюконеогенеза. При длительном голодании почки могут синтезировать до 50% от общего количества глюкозы, образующейся в организме и поступающей в кровь.
- Почки синтезируют фосфатидилинозит - необходимый компонент плазматических мембран.

ЛЁГКИЕ

Кроме газообменной функции, лёгкие выполняют и ряд других, негазообменных функций. Через лёгкие проходит вся кровь, что обеспечивает им роль своеобразного фильтра БАВ в крови артериального русла. Важная роль в трансформации БАВ принадлежит эндотелию лёгочных капилляров, обладающему поглотительным и ферментным механизмами. Первый механизм обеспечивает поступление биологической субстанции в клетку, где эта субстанция депонируется, а затем подвергается инаktivации ферментами. Второй механизм обеспечивает деградацию БАВ без стадии депонирования путём контакта их с фиксированными на поверхности эндотелия ферментами.

Недыхательные функции лёгких

- Выделительная - удаление воды и некоторых летучих веществ: ацетона, этилмеркаптана, этанола, эфира, закиси азота.
- Выработка БАВ. В эндотелии лёгочных сосудов сосредоточены ферменты, которые осуществляют синтез тромбосана B_2 и простагландинов. Лёгкие также играют важную роль в регуляции агрегатного состояния крови благодаря своей способности синтезировать факторы свёртывающей и противосвёртывающей систем (тромбопластин, факторы VII, VIII, гепарин и др.). Лёгкие - основной источник тромбопластина: в зависимости от концентрации тромбопластина в крови они увеличивают или уменьшают его выработку.
- Инактивация БАВ. Эндотелий капилляров лёгких инактивирует за счёт поглощения и ферментативного расщепления многие БАВ, циркулирующие в крови: серотонин, ацетилхолин и норадреналин. Лёгкие обладают самой мощной ферментной системой, разрушающей брадикинин: более 80% брадикинина, введённого в лёгочный кровоток, разрушается при однократном прохождении крови через лёгкое. В лёгких инактивируется 90-95% простагландинов группы E и F. В мелких углублениях (кавеолах) на внутренней поверхности лёгочных капилляров локализуется большое количество ангиотензинпревращающего фермента, который катализирует процесс превращения ангиотензина I в ангиотензин II.

Лёгкие обеспечивают как синтез, так и деструкцию белков и липидов с помощью ферментов. Здесь же подвергаются разрушению

string language="ru">string language="ru">

Рис. 9-6. Схематическое представление о последствиях загрязнения внутренней среды организма

содержащиеся в крови агрегаты клеток, капли жира, тромбоэмболы и бактерии.

В заключение следует сказать, что загрязнение внутренней среды организма в результате поступления подпороговых, но длительно действующих экзотоксинов приводит к снижению резервных возможностей организма. Это, в свою очередь, вызывает развитие различной патологии и снижает качество здоровья последующих поколений и продолжительность жизни (рис. 9-6).

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дайте определение эндотоксемии.
2. Какие вещества являются эндотоксинами?
3. Какие механизмы биотрансформации вы знаете?
4. Назовите проявления биологической активности веществ средней молекулярной массы.

5. Какие существуют механизмы биологической детоксикации в организме человека?
6. Назовите фазы развития эндогенной интоксикации и стадии эндотоксемии.
7. Какие системы естественной детоксикации вы знаете?
8. В чём заключается дезинтоксикационная функция печени?
9. Каким образом печень участвует в компенсаторно-приспособительных реакциях организма?
10. В чём заключается экскреторная функция почек?

ГЛАВА 10. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ИММУНОБИОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР

В главе рассмотрены механизмы иммунных взаимодействий, регуляция деятельности иммунной системы, взаимосвязь иммунной, нервной и эндокринной систем, экологические воздействия и иммунная система, иммунный статус населения различных регионов.

МЕХАНИЗМЫ ИММУННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

В организме человека имеются клетки и молекулы, выполняющие защитные функции.

Факторы неспецифической защиты

- Важнейшие клеточные факторы неспецифической защиты от бактерий и вирусов: фагоцитирующие клетки (гранулоциты и моноциты крови, тканевые макрофаги) и естественные киллеры (большие гранулярные лимфоциты крови).
- Неспецифическую защиту организма обеспечивают также многочисленные молекулы, продуцируемые и секретируемые вышеназванными клетками, лимфоцитами и клетками печени. В крови постоянно циркулируют компоненты системы комплемента, обеспечивающие бактерицидность сыворотки крови. В защитных реакциях воспаления непосредственно участвуют цитокины: интерлейкины, фактор некроза опухолей, интерфероны.

Механизмы специфической защиты

Внутренняя среда организма защищена от проникающих в неё чужеродных макромолекул и патогенных микробов механизмами специфического иммунного ответа. Данные механизмы приобретаются после контакта с конкретным чужеродным веществом - антигеном. Действие этих механизмов строго избирательно и распространяется только на конкретный антиген, вызвавший иммунный ответ.

Реализация иммунного ответа - функция высокоспециализированной иммунной системы организма, в состав которой входят

центральные органы (костный мозг, вилочковая железа) и периферические (селезёнка, лимфатические узлы, лимфоидная ткань, ассоциированная со слизистыми оболочками).

Основные защитные функции иммунной системы (распознавание и элиминацию чужеродных антигенов) осуществляют:

- иммунокомпетентные клетки (антигенпредставляющие - дендритные клетки и макрофаги, антигенраспознающие - Т- и В-лимфоциты);
- продуцируемые и секретируемые ими макромолекулы - антитела (иммуноглобулины) (рис. 10-1).

Неспецифические факторы защищают организм от разных инфекционных агентов, фагоциты и система комплемента - от бактерий, естественные киллеры и интерфероны - от вирусов. Специфический иммунный ответ приводит к накоплению клонов Т- и В-лимфоцитов, реагирующих на конкретный антиген.

Активированные Т-лимфоциты продуцируют цитокины, активирующие не только лимфоциты, но и фагоциты, и естественные киллеры.

Активированные В-лимфоциты продуцируют антитела - иммуноглобулины, усиливающие фагоцитоз и активирующие систему комплемента (рис. 10-1).

string language="ru">string language="ru">

Рис. 10-1. Взаимосвязь факторов и механизмов неспецифической защиты организма и специфического иммунного ответа

Лимфоциты - единственные клетки организма, способные специфически распознавать и различать антигены и отвечать активацией на контакт с определённым антигеном. Выделяют В-лимфоциты и Т-лимфоциты.

- В-лимфоциты распознают антигены специфическими рецепторами иммуноглобулиновой природы. Связывание антигена с таким рецептором служит сигналом активации В-лимфоцита и его дифференцировки в плазматическую клетку, активно продуцирующую и секретирующую специфические для данного антигена антитела.
- Т-лимфоциты дифференцируются в вилочковой железе (тимусе). По функциям среди Т-лимфоцитов различают несколько субпопуляций.

РЕГУЛЯЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ

Взаимодействие клеток иммунной системы, сила и характер иммунного ответа регулируются на уровне самой иммунной системы её медиаторами - цитокинами, которые вырабатываются клетками иммунной системы и действуют через специальные рецепторы на мембранах иммунокомпетентных клеток. Между антагонистическими группами

цитокинов, контролирующими либо клеточный, либо гуморальный иммунный ответ, в норме поддерживается равновесие.

Цитокины - обширное семейство биологически активных пептидов, обладающих гормоноподобным действием, обеспечивающих взаимодействие клеток иммунной, кроветворной, нервной и эндокринной систем. В отличие от гормонов, поддерживающих гомеостатический баланс, цитокины:

- контролируют протекание иммунных реакций;
- инициируют формирование воспалительной реакции;
- участвуют в элиминации опухолевых клеток;
- оказывают влияние на функциональное состояние нервной и эндокринной систем.

Классификация и общие свойства цитокинов

Цитокины рассматриваются как полипептиды и белки, обеспечивающие развитие воспаления и иммунного ответа. Цитокины секретируются не всегда. В некоторых случаях они могут экспрессироваться на поверхности стимулированных клеток. Однако независимо

от того, секретируются цитокины или только экспрессируются, все они обладают некоторыми общими свойствами:

- синтезируются в процессе реализации механизмов неспецифического или специфического иммунитета;
- связываются со специфическими рецепторами на клетках-мишенях;
- проявляют свою активность при низких концентрациях (порядка 10^{-11} моль/л);
- не обладают ферментативной и химической активностью;
- действуют опосредованно, изменяя функциональное состояние клеток-мишеней с помощью вторичных мессенджеров;
- оказывают аутокринное (на клетку-продуцент), паракринное (на соседние с клеткой-продуцентом клетки) и дистантное (на клетки удалённых на значительное расстояние органов и тканей) действие;
- служат медиаторами иммунной и воспалительной реакций;
- действуют как факторы роста и факторы дифференцировки клеток (при этом вызывают преимущественно медленные клеточные реакции, требующие синтеза новых белков);
- образуют регуляторную сеть, в которой отдельные элементы обладают синергическим или антагонистическим действием;
- обладают полифункциональной активностью и перекрывающимися функциями.

Лейкоциты служат источниками и в то же время мишенью для цитокинов. В связи с этим многие из цитокинов получили название «интерлейкинов».

Классификация цитокинов до определённого времени была бессистемной. Некоторые из них первоначально были названы по их доминирующему биологическому действию. С момента открытия IL-2 (1976 г.) описано более 20 иммунологически активных цитокинов, оказывающих различное действие на иммунную систему в условиях *in vitro*. Некоторые цитокины имеют не интерлейкиновую номенклатуру, а своё первоначальное название, например, ФНО (фактор некроза опухолей), КСФ (колониестимулирующие факторы), OSM (онкостатин М), LIF (фактор, ингибирующий лейкозные клетки), NGF (фактор роста нервов), CNTF (цилиарный нейротрофический фактор). Различные цитокины могут быть сгруппированы в пять обширных классов, объединённых по их доминирующему биологическому действию:

- воспалительные;
- противовоспалительные;
- факторы, вызывающие рост и дифференцировку лимфоцитов;
- гемопоэтические колониестимулирующие факторы;
- факторы, вызывающие рост мезенхимальных клеток. Исследования механизмов регуляции адаптации организма к

действию экстремальных факторов позволили накопить достаточно убедительные данные и аргументы в пользу представления о том, что иммунная система играет существенную роль в регуляции физиологических функций наряду с нервной и эндокринной системами.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ИММУННОЙ, НЕРВНОЙ И ЭНДОКРИННОЙ СИСТЕМ

Нервная и эндокринная системы модулируют функции иммунной системы с помощью нейротрансмиттеров, нейропептидов и гормонов, а иммунная система взаимодействует с нейроэндокринной с помощью цитокинов, иммунопептидов и иммунотрансмиттеров. Существует нейрогормональная регуляция иммунного ответа и функций иммунной системы, опосредованная действием гормонов и нейропептидов непосредственно на иммунокомпетентные клетки или через регуляцию продукции цитокинов (рис. 10-2). Вещества аксональным транспортом проникают в иннервируемые ими ткани и влияют на процессы иммуногенеза, и наоборот, со стороны иммунной системы поступают сигналы (цитокины, выделяемые иммунокомпетентными клетками), которые ускоряют или замедляют аксональный транспорт в зависимости от химической природы воздействующего фактора.

Нервная, эндокринная и иммунная системы имеют много общего в своём строении. Все три системы действуют согласованно, дополняя и дублируя друг друга, значительно повышая надёжность регуляции функций. Они тесно взаимосвязаны и имеют большое количество перекрёстных путей.

Существует определённая параллель между лимфоидными скоплениями в различных органах и тканях и ганглиями вегетативной нервной системы.

Стресс и иммунная система

Эксперименты на животных и клинические наблюдения свидетельствуют о том, что состояние стресса, некоторые психические рас-

string language="ru">string language="ru">

Рис. 10-2. Два механизма вмешательства иммунных процессов в деятельность нервной и эндокринной систем: А - глюкокортикоидная обратная связь, торможение синтеза интерлейкина-1 и других лимфокинов, Б - ауто- антитела к гормонам и их рецепторам. Тх - Т-хелпер, МФ - макрофаг строения приводят к резкому угнетению практически всех звеньев иммунной системы организма.

Большая часть лимфоидных тканей имеет прямую симпатическую иннервацию как кровеносных сосудов, проходящих через лимфоидную ткань, так и непосредственно самих лимфоцитов. Вегетативная нервная система непосредственно иннервирует паренхиматозные ткани тимуса, селезёнки, лимфатических узлов, аппендикса и костного мозга.

Воздействие фармакологическими препаратами на постганглионарные адренергические системы приводит к модуляции иммунной системы. Стресс, напротив, приводит к десенситизации β -адренорецепторов.

Норадреналин и адреналин действуют на адренорецепторы - АМФ - протеинкиназа А подавляет продукцию провоспалительных цитокинов, таких как IL-12, фактор некроза опухоли α (TNF α), интерферон γ (IFN γ) антиген-представляющими клетками и Т-хелперами первого типа и стимулируют образование противовоспалительных цитокинов, таких как IL-10 и трансформирующий фактор роста- β (TFR β).

Вместе с тем, при определённых условиях катехоламины способны ограничить местную иммунную реакцию путём индукции образования IL-1, TNF α и IL-8, обеспечивая защиту организма от вредного действия провоспалительных цитокинов и других продуктов активированных макрофагов. При взаимодействии симпатической нервной системы с макрофагами нейропептид Y выступает в качестве сопередатчика сигнала с норадреналина на макрофаги. Блокируя α -адренорецепторы, он поддерживает стимулирующий эффект эндо- генного норадреналина через β -адренорецепторы.

Опиоидные пептиды - одни из посредников между ЦНС и иммунной системой. Они способны оказывать влияние практически на все иммунологические процессы. В связи с этим было сделано предположение, что опиоидные пептиды опосредованно модулируют секрецию гормонов гипофиза и таким путём воздействуют на иммунную систему.

Нейротрансмиттеры и иммунная система

Однако взаимоотношения между нервной и иммунной системами не ограничиваются регулирующим влиянием первой на вторую. В последние годы накопилось достаточное количество данных о синтезе и секреции нейротрансмиттеров клетками иммунной системы.

- Т-лимфоциты периферической крови человека содержат L-дофа и норадреналин, а В-клетки - только L-дофа.
- Лимфоциты *in vitro* способны синтезировать норадреналин как из L-тирозина, так и L-дофа, добавленных в культуральную среду в концентрациях, соответствующих содержанию в венозной крови ($5 \cdot 10^{-5}$ и 10^{-8} моль соответственно), в то время как D-дофа не влияет на внутриклеточное содержание норадреналина. Следовательно, Т-лимфоциты человека способны синтезировать катехоламины из их нормальных предшественников в физиологических концентрациях.

Соотношение норадреналин/адреналин в лимфоцитах периферической крови аналогично таковому в плазме. Существует отчетливая корреляционная связь между количеством норадреналина и адреналина в лимфоцитах, с одной стороны, и циклической АМФ в них - с другой, как в норме, так и при стимуляции изопротеренолом.

Вилочковая железа (тимус)

Вилочковой железе отводят важное место во взаимодействии иммунной системы с нервной и эндокринной. В пользу такого заключения приводят ряд аргументов:

- недостаточность тимуса не только замедляет формирование иммунной системы, но и приводит к нарушению эмбрионального развития передней доли гипофиза;
- связывание гормонов, синтезируемых в ацидофильных клетках гипофиза, с рецепторами эпителиальных клеток тимуса (*thymus epithelial cells* - TECs) увеличивает освобождение ими *in vitro* тимических пептидов;
- повышение в крови концентрации глюкокортикоидов при стрессе вызывает атрофию коры тимуса благодаря удвоению тимоцитов, подвергающихся апоптозу;
- паренхима тимуса иннервируется веточками вегетативной нервной системы; действие ацетилхолина на ацетилхолиновые рецепторы эпителиальных клеток тимуса увеличивает белково-синтетическую активность, связанную с образованием тимических гормонов.

Белки тимуса представляют собой гетерогенное семейство полипептидных гормонов, не только оказывающих регуляторное действие как на иммунную, так и на эндокринную системы, но и находящихся под контролем гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы и других желёз

внутренней секреции. Так, образование вилочковой железой тимулина регулирует ряд гормонов, включая пролактин, гормон роста и тиреоидные гормоны. В свою очередь, выделенные из тимуса белки регулируют секрецию гормонов гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системой и могут непосредственно воздействовать на железы-мишени этой системы и ткани гонад.

Регуляция иммунной системы

Гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая система - мощный механизм регуляции иммунной системы. Кортикотропин-рилизинг-фактор, АКТГ, α -меланоцитостимулирующий гормон, β -эндорфин - иммуномодуляторы влияющие как прямо на лимфоидные клетки, так и через иммунорегулирующие гормоны (глюкокортикоиды) и нервную систему. Иммунная система посылает сигналы нейроэндокринной системе через цитокины, концентрация которых в крови достигает значимых величин при иммунных (воспалительных) реакциях. IL-1, IL-6 и TNF α - основные цитокины, вызывающие глубокие нейроэндокринные и метаболические изменения во многих органах и тканях.

Кортикотропин-рилизинг-фактор выступает в качестве основного координатора реакций и ответственен за активацию АКТГ-адреналовой оси, повышение температуры и реакции ЦНС, определяющих симпатические эффекты. Увеличение секреции АКТГ ведёт к повышению продукции глюкокортикоидов и α -меланоцитостимулирующего гормона - антагонистов цитокинов и антипиретических гормонов. Реакция симпатoadреналовой системы связана с накоплением катехоламинов в тканях.

Иммунная и эндокринная системы перекрёстно взаимодействуют, используя сходные или тождественные лиганды и рецепторы. Так, цитокины и гормоны тимуса модулируют функцию системы гипоталамус-гипофиз.

- Интерлейкин (IL-1) непосредственно регулирует продукцию кортикотропин-рилизинг-фактора. Тимулин через адреногломерулотропин и активность гипоталамических нейронов и клеток гипофиза повышает продукцию лютеинизирующего гормона.
- Пролактин, воздействуя на рецепторы лимфоцитов, активирует синтез и секрецию клетками цитокинов. Он действует на нормальные киллеры и индуцирует их дифференцировку в пролактинактивированные клетки-киллеры.
- Пролактин и гормон роста стимулируют лейкопоэз, (в том числе лимфопоэз).

Клетки гипоталамуса и гипофиза могут продуцировать цитокины, такие как IL-1, IL-2, IL-6, γ -интерферон, β -трансформирующий ростковый фактор и другие. Соответственно, гормоны, включая гормон роста, пролактин, лютеинизирующий гормон, окситоцин, вазопрессин и соматостатин

образуются в вилочковой железе. Рецепторы к различным цитокинам и гормонам выявлены как в тимусе, так и в оси гипоталамус-гипофиз. Возможная общность регуляторных механизмов ЦНС, ней-роэндокринной и иммунологической систем выдвигают новый аспект гомеостатического контроля многих патологических состояний (рис. 10-3, 10-4). В поддержании гомеостаза при действии на организм различных экстремальных факторов все три системы дейс-

string language="ru">string language="ru">

Рис. 10-3. Взаимодействие нервной, эндокринной и иммунной систем в регуляции физиологических функций организма

твуют как единое целое, дополняя друг друга. Но, в зависимости от природы воздействия, в регуляции адаптивных и компенсаторных реакций ведущей становится одна из них.

Многие функции иммунной системы обеспечены дублирующими механизмами, с чем связаны дополнительные резервные возможности защиты организма. Защитная функция фагоцитоза дублируется гранулоцитами и моноцитами/макрофагами. Способностью усиливать фагоцитоз обладают антитела, система комплемента и цитокин γ -интерферон.

Цитотоксическое действие против клеток-мишеней, инфицированных вирусом или злокачественно трансформированных, дублируют естественные киллеры и цитотоксические Т-лимфоциты (рис. 10-5). В противовирусном и противоопухолевом иммунитете защитными клетками-эффекторами могут служить либо естественные киллеры, либо цитотоксические Т-лимфоциты.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 10-4. Взаимодействие системы иммунитета и регуляторных механизмов с факторами окружающей среды в условиях экстремальных воздейс-

string language="ru">string language="ru">

Рис. 10-5. Дублирование функций в иммунной системе обеспечивает её резервные возможности

При развитии воспаления несколько цитокинов-синергистов дублируют функции друг друга, что позволило объединить их в группу провоспалительных цитокинов (интерлейкины 1, 6, 8, 12 и TNF α). В завершающей стадии воспаления участвуют другие цитокины, дублирующие эффекты друг друга. Они служат антагонистами провоспалительных цитокинов и называются противовоспалительными (интерлейкины 4, 10, 13 и трансформирующий ростовой фактор- β). Цитокины, продуцируемые Th2 (интерлейкины 4, 10, 13, трансформирующий ростовой фактор- β), антагонистичны по отношению к цитокинам, продуцируемым Th1 (γ -интерферона, TNF α).

Онтогенетические изменения иммунной системы

В процессах онтогенеза иммунная система претерпевает постепенное развитие и созревание: сравнительно медленное в эмбриональный период, оно резко ускоряется после рождения ребенка в связи с поступлением в организм большого количества чужеродных антигенов. Тем не менее, большинство защитных механизмов несёт черты незрелости на протяжении всего периода детства. Нейрогормональная регуляция функций иммунной системы начинает отчётливо проявляться в пубертатный период. В зрелом возрасте иммунная система характеризуется наибольшей способностью к адаптации при попадании человека в изменённые и неблагоприятные условия внешней среды. Старение организма сопровождается различными проявлениями приобретённой недостаточности иммунной системы.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ИММУННАЯ СИСТЕМА

Современные представления о воздействии экологических факторов на организм, среди которых можно выделить физические, химические, биологические, психологические и социальные, представлены на рис. 10-6. Реакции адаптации проявляются на уровне различных, в первую очередь, регуляторных систем (нервной, эндокринной, иммунной, системы неспецифической резистентности). Антропогенные факторы вносят свой дополнительный вклад в раздражительную нагрузку и нередко приводят к срыву нормальных адаптационных процессов. Варианты реализации экологических воздействий на иммунную систему приведены на рис. 10-7.

Результат экогенных влияний - адаптация иммунной системы или её дисфункция. Варианты адаптации следующие:

string language="ru">string language="ru">

Рис. 10-6. Экологические воздействия и системы поддержания гомеостаза организма

- отклонения в иммунограмме отсутствуют, клинических проявлений нет;
- отклонения в иммунограмме установлены, клинических проявлений нет.

Дисфункция иммунной системы или развитие экологически обусловленного вторичного иммунодефицита возникает в результате срыва адаптационных механизмов.

Экстремальные производственные факторы

Примером профессиональной вредности, оказывающей существенное влияние на иммунную систему, может служить асбестоз. Подвергавшиеся контакту с асбестосодержащими материалами рабочие отличаются усиленной продукцией иммуноглобулинов G, A и M, компонентов комплемента C3 и C4, трансферрина на фоне угнетения неспецифических

механизмов защиты. Эти изменения иммунологических показателей намного опережают клинические проявления асбестоза, в патогенезе которых велика доля иммунопатологических механизмов.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 10-7. Возможные варианты экогенных отклонений в состоянии иммунной системы

Люди, по роду своей работы контактирующие с полициклическими ароматическими углеводородами в металлургии, отличаются существенным снижением уровней иммуноглобулинов G, A, M, а также повышением уровня иммуноглобулина E в сыворотке крови. Эти иммунологические сдвиги предшествуют клиническим проявлениям профпатологии.

Хроническое отравление свинцом задолго до клинических проявлений поражения почек вызывает существенное нарастание количества циркулирующих В-лимфоцитов.

Одна из весьма распространённых профессиональных вредностей - гипоксия, которая угнетает метаболизм и функции всех иммунокомпетентных клеток и клеток сосудистого эндотелия.

Наиболее выраженное повреждающее действие на иммунную систему оказывает сочетание двух или трёх факторов риска, например профессиональных в комбинации с курением или с алкоголизмом. Сочетание профессиональных контактов с органическими растворителями и курения оказывает синергичное угнетающее действие на иммунную систему: в крови людей снижается концентрация IgA и IgG, лизоцима, а также нарушается баланс субпопуляций Т-лимфоцитов.

Экологически обусловленное вторичное иммунодефицитное состояние

Общий результат иммунологических исследований позволяет сделать следующий вывод: антропогенные факторы влияют на функционирование иммунной системы и могут приводить к развитию экологически обусловленного вторичного иммунодефицитного состояния. Выделяют следующие четыре формы:

- дефицит Т-системы иммунитета;
- дефицит В-системы иммунитета (изолированно встречается крайне редко);
- дефицит системы фагоцитоза;
- комбинированные расстройства (чаще дисфункции Т-системы и фагоцитарной системы).

В процессе адаптации к новым климатическим и экологическим условиям мобилизуются многочисленные резервные механизмы иммунной системы, изменяются иммунорегуляторные связи. В период адаптации иммунной системы повышен риск её поломок и нарушений иммунорегуляции, которые

проявляются повышением частоты инфекций, опухолей и аутоиммунных заболеваний.

Особенно велико значение процессов адаптации в тех случаях, когда человек на протяжении длительного времени подвергается воздействию экстремальных условий. Под экстремальными принято понимать условия, находящиеся на грани переносимости. К числу таковых относят климатические условия циркумполярных областей, высокогорья и аридной зоны.

Сочетанное действие экстремальных техногенных и климатогеографических условий

Степень экстремальности может усугубляться неблагоприятной экологической обстановкой, например радиоактивным загрязнением территорий Крайнего Севера или химическими ксенобиотиками (гербицидами и пестицидами) региона Аральского моря. В конкретных условиях на организм действует не один фактор, а их комплекс: высокие или низкие температуры, недостаточная или избыточная инсоляция, недостаток воды, радионуклиды или инсектициды и гербициды.

Сезонные колебания

Сезонные колебания характеристик иммунной системы происходят в разных климатических поясах. Зимний период, как правило, несёт с собой целый комплекс факторов риска: низкие температуры воздуха, пониженную инсоляцию и др. В связи с этим при переходе в зимний сезон, с сокращением светового дня, у жителей Крайнего Севера повышается уровень IgG в сыворотке крови, возрастают и другие иммунологические показатели, что можно рассматривать как адаптацию иммунной системы, позволяющую ей противостоять сезонным факторам риска.

ИММУННЫЙ СТАТУС НАСЕЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ

Иммунный статус здорового населения

Показатели иммунного статуса характеризуются вариабельностью. На основе обобщённых иммунологических характеристик практически здорового взрослого населения ряда городов, регионов России и стран СНГ была создана классификация нескольких вариантов иммунного статуса здорового населения.

- Нормоиммунограмма - средние обобщённые значения, которые можно рассматривать только как временные, требующие дальнейшей доработки. Истинной нормоиммунограммы, соответствующей средним обобщённым значениям, не выявлено ни в одном регионе. Больше всего к нормоиммунограмме приближается иммунный статус практически здорового населения России. В этом случае основные параметры иммунного статуса примерно соответствуют данным ВОЗ.

- Иммунный статус с супрессией Т-клеточного иммунитета установлен у жителей Норильска, регионов Крайнего Севера, Красноярского края с экстремальными климатическими условиями, г. Курчатова Семипалатинской области, хотя по соотношению показателей гуморального иммунитета иммунный статус его жителей приближается к нормоиммунограмме.
- Иммунный статус с супрессией В-клеток выявлен у населения Риги, Вильнюса, Семипалатинска, Новокузнецка, Тбилиси - городов с различными климато-географическими и экологическими характеристиками.
- Супрессивный тип иммунного статуса (г. Саржал Семипалатинской области, г. Витебск).
- Иммунный статус с супрессией гуморального звена иммунитета у жителей некоторых городов и населённых пунктов среднеазиатского региона (Сусамырской высокогорной долины), а также таких крупных и высокоиндустриальных городов, как Москва, Санкт-Петербург, Челябинск.
- Равномерно активированный тип иммунного статуса (Кириши, Одесса).
- Активированный профиль гуморального звена иммунного статуса при нормальных или даже несколько сниженных показателях клеточного иммунитета (у жителей Ростова-на-Дону, Ташкента, Нижнего Новгорода, Караганды, Еревана).
- Смешанный тип иммунного статуса с супрессией клеточного и активацией некоторых показателей гуморального звена иммунитета (Киев, Армавир, Каракалпакия).

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИММУНОЛОГИИ

Основные направления развития экологической иммунологии:

- развитие концепции «нормы» в условиях изменяющейся экологической обстановки и разработка иммунологических показателей здоровья, постепенный переход от среднестатистических региональных норм к показателям реально здорового организма;
- определение для различных по природе экологически неблагоприятных факторов общих механизмов, лежащих в основе формирования синдрома экологически обусловленного вторичного иммунодефицитного состояния;
- выделение особенностей иммунологического реагирования в зависимости от природы воздействующего экологического фактора;
- проведение иммунологического мониторинга в районах, подверженных постоянному воздействию природных и техногенных факторов среды для разработки принципов иммунокоррекции.

\

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Перечислите факторы неспецифической защиты.
2. Назовите механизмы специфической защиты.
3. Дайте определение цитокинов и их общие свойства.
4. Какие классификации биоритмов вы можете привести? В чём принципиальное отличие разных классов цитокинов?
5. Как осуществляется взаимосвязь иммунной, нервной и эндокринной систем?
6. Какие общие морфофункциональные признаки объединяют иммунную, нервную и эндокринную системы?
7. Что изучает экологическая иммунология?
8. Назовите варианты экогенных отклонений в состоянии иммунной системы.
9. Какие варианты иммунного статуса здорового населения вы знаете?
10. Назовите основные направления развития экологической иммунологии.

ГЛАВА 11. ЭКОЛОГИЯ ТРУДА И СПОРТА

В главе рассмотрены основные понятия экологии труда и спорта, характеристика динамической и статической работы, восстановление после физических нагрузок, обоснование вработывания и разминки, экология вахтового труда.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ЭКОЛОГИИ ТРУДА И СПОРТА

Существует множество классификаций видов мышечной и спортивной деятельности, каждая из которых решает свои специфические задачи. Для экологии важно понимание следующих моментов:

- спортивная и трудовая деятельность сопровождается предельным напряжением всего организма;
- что является источником энергообеспечения мышечной работы. Для динамической работы существует ряд основных понятий, представленных на рис. 11-1.

Нагрузка - внешняя задача, параметры которой не зависят от человека, выполняющего работу. В то же время работа - активность, проявляемая как реакция на нагрузку, зависит от индивидуальных особенностей человека. Напряжение, которое испытывает организм

Стресс нагрузка (задача)

string language="ru">string language="ru">

Рис. 11-1. Схема, иллюстрирующая понятия «нагрузка» и «напряжение» для случая динамической работы

при выполнении определённой работы, отражается в изменении различных физиологических функций (рис. 11-1). Все эти три величины можно измерить.

Факторы, определяющие напряжение

Степень перестройки физиологических функций, необходимой для того, чтобы организм справился с данной нагрузкой, зависит в основном от двух факторов - работоспособности и эффективности деятельности (коэффициента полезного действия).

- Работоспособность - способность реагировать на нагрузку и выполнять определённую работу. Работоспособность зависит от состояния здоровья и тренированности, а также от способности к данной работе. На неё оказывают влияние в каждом отдельном случае окружающая среда (например, климат, время суток, шум) и функциональное состояние умственной активности и эмоциональной сферы.
- Эффективность (коэффициент полезного действия) - мера полезной отдачи от затраченного усилия.

Классификация физических упражнений

По структуре двигательного акта мышечная работа бывает динамической и статической.

- Динамическая работа выполняется при преодолении усилия на определённом расстоянии: при положительной динамической работе мускулатура действует как «двигатель», при отрицательной (спуск с горы) - играет роль «тормоза».
- Статическая работа производится при изометрическом мышечном сокращении, при этом не преодолевается никакое расстояние, а организм реагирует на нагрузку физиологическим напряжением.

В одних видах физических упражнений преобладает динамическая, в других - статическая составляющая. В свою очередь, динамическая работа бывает циклической и ациклической.

- Циклические упражнения - бег, гребля, велоспорт, в которых движения одинаковы по структуре, стереотипно повторяются одно за другим.
- Ациклические упражнения - сложные движения, состоящие из отдельных, непохожих друг на друга двигательных актов (прыжки, поднятия штанги, метания снарядов и т.д.).

Определённый вид мышечной деятельности в разных условиях среды лимитирует ряд факторов, чаще всего разные типы энерго- обеспечения. Для своего сокращения мышца использует энергию макроэргических связей, своеобразного «аккумулятора» энергии АТФ. При гидролизе АТФ до АДФ высвобождается энергия разрушенной макроэргической связи. Запасы АТФ в мышце составляют 0,0004 г/г мышц. Этого количества хватает всего лишь на 1-2 с работы мышечного волокна в предельном режиме.

Типы энергообеспечения

Организму необходимо восстановление запасов АТФ, которое может идти анаэробным или аэробным путём.

- Анаэробные - осуществляются без участия O_2 .
- За счёт креатинфосфата: от креатинфосфата отщепляется фосфатная группа с освобождением достаточного количества энергии, чтобы восстановить эквивалентное количество молекул АТФ. Поскольку АТФ и креатинфосфат для своего расщепления не требуют сложных многоступенчатых биологических реакций и участия в них кислорода, имеют сходное строение и работают как бы в тандеме, их объединяют в так называемую анаэробную фосфагенную систему. Благодаря простоте биохимических реакций, обеспечивающих освобождение энергии, фосфагенная система способна дать наибольшее количество энергии в единицу времени, а значит, обладает большой мощностью при небольшой ёмкости (времени, в течение которого за счёт этого источника может продолжаться мышечная работа).

- Путём гликолиза и гликогенолиза - цепи биохимических реакций расщепления гликогена и глюкозы до молочной кислоты (лактацида). При анаэробном расщеплении в саркоплазматической сети мышечных клеток гликогена (гликогенолизе) каждая глюкозная единица освобождает энергию для восстановления трёх молекул АТФ, а при расщеплении чистой глюкозы (гликолиз) освобождается энергия для восстановления только двух молекул АТФ. Анаэробный гликогенолиз начинается практически тотчас же с началом мощной мышечной работы и достигает своей максимальной скорости к 30-40 с работы. Мощность лактацидной системы энергопродукции по отношению к фосфагенной в 3 раза меньше, однако ёмкость почти в 2,5 раза больше, что позволяет обеспечивать

мощную мышечную работу в течение 1,5-2 мин. Лактацидная энергетическая система функционирует не только при мощной мышечной работе, но всегда, когда снабжение кислородом тканей отстает от потребностей (статическая работа, начало работы и т.д.).

• Аэробный процесс происходит в митохондриях: с помощью кислорода и множества специфических ферментов осуществляется окисление сложных органических веществ (жиров, белков, углеводов, нуклеиновых кислот) до более простых. Энергия разрушенных химических связей аккумулируется в макроэргических связях АТФ, креатинфосфата и затрачивается на регенерацию глюкозы из остатков молочной кислоты (в среднем регенерируется около 75% глюкозы). Это самый ёмкий процесс энергообеспечения организма. В среднем при использовании 1 л кислорода в организме накапливается энергия всех перечисленных источников - около 5 ккал. Представление о мощности и ёмкости энергообеспечивающих систем представлено в табл. 11-1.

Таблица 11-1. Мощность и ёмкость энергообеспечивающих систем

Системы	Максимальная мощность, моль АТФ/мин	Максимальная ёмкость, общее число молей АТФ
Анаэробные:		
– фосфагенная (АТФ, креатинфосфат);	3,6	0,5
– гликолитическая	1,2	1,2
Аэробные:		
– окисление гликогена;	0,8	80
– окисление жиров	0,4	6000

Поскольку восстановление анаэробных источников происходит за счёт аэробных, суммарное количество энергии в конечном итоге эквивалентно аэробным источникам. Это даёт возможность подсчитывать все энергозатраты организма по количеству потреблённого кислорода спустя некоторое время после совершения работы, когда процессы регенерации анаэробных источников закончены (после

восстановительного периода). Суммарное количество кислорода, необходимое для восстановления анаэробных источников, а также количество кислорода, потраченное непосредственно на восстановление АТФ аэробным путём, носит название кислородного запроса на работу.

Зная скорость максимально возможного потребления кислорода данного человека и сопоставляя этот показатель с количеством кислорода, израсходованного для совершения данной работы (кислородный запрос), можно судить о типе энергообеспечения конкретного вида мышечной деятельности. Тип же энергообеспечения определён- ного вида мышечной деятельности - один из системообразующих факторов для классификации видов мышечной деятельности.

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИНАМИЧЕСКОЙ И СТАТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Любую мышечную работу, независимо от структуры движений, характеризует её мощность. Однако понятие мощности работы не отражает напряжённости работы физиологических систем: у одного и того же спортсмена, бегущего под гору и в гору мощность работы в физическом смысле может быть одинакова. Но напряжённость работы, например, сердечно-сосудистой системы при беге в гору будет значительно выше.

Относительная мощность работы

Понятие относительной мощности работы отражает напряжён- ность работы физиологических систем в процентах от максимально возможного уровня развёртывания какой-либо функции.

Основой большинства классификаций физических упражнений по мощности служит кривая Хилла-Фарфеля (рис. 11-2), построенная в логарифмической системе координат и показывающая зависимость рекордного времени бега на разные дистанции от скорости движения на данной дистанции. На кривой отчётливо заметны четыре переломные точки, отражающие принципиальные отличия в энергообеспечении в группах дистанций и выявляющие четыре типа циклической работы разной относительной мощности.

Работа максимальной относительной мощности

- К этому виду работы относят: бег на 60, 100 и 200 м;
- плавание на 25 и 50 м и другие спринтерские дистанции.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 11-2. Логарифмическая кривая зависимости рекордной скорости (V) на разных дистанциях от времени (t) прохождения этих дистанций (В.С. Фарфель): участки «перелома» кривой соответствуют временным границам между физиологическими зонами мощности циклических упражнений

На рис. 11-3 представлена схема реализации кислородного запроса при беге на 100 м:

- для выполнения такой работы необходимо потребление кислорода 40 л/мин;
- у хорошо тренированных спортсменов максимальное потребление кислорода (МПК) составляет всего 5-6 л/мин.

Следовательно, эта работа выполняется исключительно за счёт анаэробных источников энергии, а именно фосфагенной системы (креатинфосфатный и аденозинфосфатные механизмы).

Особенности

- Время этой работы столь коротко, что дыхательная, сердечнососудистая и система терморегуляции, не успевают не только достичь своих предельных значений, но и превысить уровень покоя на 10-20%.
- После работы ещё 2-3 с происходит продолжение «развёртывания» физиологических функций по инерции, а затем постепенное восстановление до исходного уровня.
- Полное восстановление всех функций наступает через 30- 40 мин.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 11-3. Схема удовлетворения кислородного запроса в зоне максимальной мощности: потребление кислорода, возрастающее после работы, далеко от максимального и тем более от минутного кислородного запросов. Кислородный долг (заштрихованная площадь) составляет около 95% кислородного запроса

Несмотря на огромный минутный кислородный запрос (до 40 л/мин), из-за кратковременности работы и невозможности мгновенного развёртывания респираторной, сердечно-сосудистой и других систем абсолютные величины показателей деятельности вегетативных функций к концу работы невелики:

- ЧСС достигает 120-130 уд./мин (при $ЧСС_{max}=200-220$ уд./мин);
- МОД достигает 30-40 л/мин ($МОД_{max}=200-220$ л/мин);
- скорость потребления кислорода (V_{O_2}) достигает 0,9-1,0 л/мин ($V_{O_{2max}}=5-6$ л/мин);
- кислородный долг - количество кислорода, потреблённого в восстановительный период сверх уровня покоя,- достигает 6-7 л (максимальный кислородный долг равен 20 л) и т.д.

Индивидуальная адаптация к такому виду нагрузки характеризуется:

- увеличением биомассы мышц, которые участвуют в этой работе, главным образом за счёт утолщения быстрых мышечных волокон;
- увеличением мощности фосфагенной системы энергопродукции за счёт увеличения концентрации АТФ и креатинфосфата.

Аэробная система энергопродукции, напротив, либо остаётся без изменений, либо испытывает некоторый регресс. Так, показатель абсолютного максимального потребления кислорода (МПК) у мужчин-спринтеров редко превышает 3,5-4 л/мин, а относительное МПК за счёт увеличения мышечной массы вообще меньше среднестатистического (35-40 мл/кг веса против 50-60 мл/кг веса у квалифицированных марафонцев).

С точки зрения ведущего способа энергообеспечения к этой же зоне мощности можно отнести и кратковременные эпизоды в игровых видах спорта, такие как атаки, а также некоторые элементы в подъёме штанги, прыжках и единоборствах, когда требуется предельное напряжение какой-либо группы мышц или больших групп мышц. Среди трудовых процессов - удар молота, вырывания и другие аналогичные движения.

Поскольку аэробная система энергопродукции в этих видах упражнений используется на 10-20% от своих предельных возможностей, то и влияние экологических факторов, связанных с изменениями содержания O_2 , на спортивный результат минимальное - гипоксия, понижающая максимальное потребление кислорода (МПК) даже до уровня 60%, не сказывается на спортивном результате.

Влияние экологических факторов

Изменения температуры окружающей среды имеют значение для достижения спортивных результатов.

- Гипотермия негативно сказывается на спортивном результате, меняя даже рисунок движений за счёт повышения вязкости мышц. Охлаждённые мышцы обладают меньшей АТФазной активностью, что, несомненно, сказывается как на скорости расщепления АТФ, так и на её регенерации через креатинфосфатный механизм.
- Гипертермия способствует достижению высокого спортивного результата при повышении температуры тела до некоторого оптимума (около 39,5 °C), так как скорость биохимических реакций повышается; при дальнейшем повышении температуры тела скорость биохимических реакций вновь понижается.

Перед выступлением на соревнованиях спортсмен выполняет комплекс физических упражнений, называемых разминкой. Одна из задач разминки - вызвать рабочую гипертермию организма, с тем чтобы повысить скорость протекания биохимических реакций. В частности, если скорость расщепления АТФ в мышцах будет выше, то следует ожидать повышения мощности работы, что и требуется в данной зоне мощности.

Любые экологические факторы, снижающие скорость или блокирующие отдельные биохимические реакции (такие как интоксикации и жёсткое излучение), будут негативно сказываться и на спортивном результате. Смена часового пояса при трансмеридиональных перелётах, нарушая естественные

колебания активности вегетативных функций, отрицательно сказывается на проявлении максимальной мощности в работе спортсмена.

Работа субмаксимальной относительной мощности

В зону субмаксимальной относительной мощности входит большая группа спортивных дисциплин, именуемых «средними дистанциями»:

- бег на 400, 800, 1000 и 1500 м;
- плавание на 100, 200, 400 м.

Время прохождения дистанций варьирует от 40 с до 4 мин. Кислородный запрос составляет:

- 25 л/мин при беге на 400 м;
- 8,5 л/мин при беге на 1500 м.

Соответственно меняется скорость прохождения дистанции: от 8,7 м/с на 400 м до 6,8 м/с на 1500 м. Максимальная мощность среди этих видов работы развивается при прохождении средних дистанций.

Особенности

- Работа проходит на пределе возможностей двигательного аппарата. С точки зрения энергетики, работа проводится на грани возможного кислородного долга. В конце средних дистанций кислородный долг составляет 17-19 л.
- У тренированного спортсмена за 2, а чаще за 3 мин включается аэробная система энергопродукции; тем не менее, доля аэробной системы не превышает 25% от общего энергообеспечения. Минутный кислородный запрос составляет 12,5 л/мин, а полностью «развёрнутая» аэробная система может дать не более 5-6 л O_2 /мин.
- К концу прохождения средних дистанций в крови накапливается большое количество молочной кислоты - до 250 мг/%.
- Показатели концентрации молочной кислоты и практически предельный кислородный долг (ликвидация кислородного долга длится до 2 ч), а также длительное восстановление анаэробных источников энергоснабжения свидетельствуют о полном исчерпании креатинфосфатного и лактаcidного механизмов к концу дистанции.

Адаптация организма человека к такой работе заключается:

- в совершенствовании анаэробной системы энергопродукции (увеличение концентрации фосфогенов, увеличение ёмкости лактаcidной системы, повышение скорости ферментативных реакций);
- в гипертрофии быстрых мышечных волокон;

- в развитии аэробной системы энергопродукции (уровень МПК 4,5-5 л/мин, относительное МПК от 40 до 50 мл/кг веса, в ряде случаев отмечается гипертрофия левого желудочка сердца).

Влияние экологических факторов

Экологические факторы оказывают влияние на спортивные результаты:

- гипоксия любого генеза пропорционально её степени снижает спортивный результат и затрудняет восстановление кислородного долга;
- интоксикации и жёсткое излучение оказывают негативное влияние на скорость биохимических процессов;
- трансмеридиональные перелёты, меняя акрофазу двигательной активности, также неблагоприятно сказываются на работоспособности спортсменов.

Работа относительной большой мощности

К этой группе относятся:

- легкоатлетический бег на 10 км;
- спортивная ходьба на 8 км;

string language="ru">string language="ru">

Рис. 11-4. Схема удовлетворения кислородного запроса в зоне большой мощности: потребление кислорода после вработывания продолжает незначительно увеличиваться, приближается к максимальному, но всё ещё отстает от кислородного запроса

Особенности

- Предельное время работы с такой мощностью составляет 25- 30 мин. Минутный кислородный запрос при прохождении этих дистанций всегда на 1,0-1,5 л больше, чем индивидуальное МПК (рис. 11-4). Для высококвалифицированных спортсменов он составляет около 6,5 л при индивидуальном МПК в 5 л.
- Поскольку время работы не менее 8 мин, а требования к физиологическим системам превышают их возможности, то все функции успевают развернуться на полную мощь.
- Через 3-5 мин работы МОД у квалифицированных спортсменов достигает 150-180 л/мин, ЧСС может достигать 200-220 уд./мин.
- Благодаря предельному увеличению дыхания и кровообращения, а также коэффициенту использования кислорода, потребление кислорода тканями возрастает до своей предельной величины. Для высококвалифицированных спортсменов эта величина составляет около 5 л.
- Аэробная составляющая энергообеспечения имеет основное значение.

- После достижения предельно возможной скорости к 3-4 мин потребление кислорода стабилизируется на уровне МПК. Но поскольку минутный кислородный запрос превышает его максимальное потребление, это устойчивое состояние является ложным.
- При этом происходит постепенное накопление кислородного долга, но, в силу ограниченности времени работы, долг не достигает своих предельных величин и составляет 12-15 л.
- Лактацидный механизм энергообеспечения истощается практически полностью, так как содержание молочной кислоты в крови приближается к предельному.
- В конце дистанции линия ложного устойчивого состояния испытывает дрейф в сторону понижения, указывая пагубность длительного воздействия на нервные и мышечные клетки недостатка кислорода, повышенного содержания молочной кислоты и других недоокисленных продуктов обмена.

Так же, как и работа субмаксимальной интенсивности, работа большой мощности сопровождается почти предельными сдвигами во внутренней среде организма. В этой связи ему необходим длительный период восстановления.

Влияние экологических факторов

Результативность работы в значительной степени зависит от неблагоприятных экологических факторов.

- Работа при повышенной температуре среды и высокой влажности в силу огромной мышечной теплопродукции может привести к тепловому удару.
- Менее подвержена указанная работа влиянию пониженной температуры среды.
- Пониженное снижает работоспособность. Поэтому спортсмены, занимающиеся указанными видами спорта, проводят сборы в горах, где понижено pO_2 , при адаптации к которому аэробные возможности организма повышаются.

Работа умеренной относительной мощности

К этой зоне мощности относится большая группа длинных и сверхдлинных дистанций:

- легкоатлетический бег на 20, 30 и 42,195 км;
- спортивная ходьба на 10, 20, 30 и 50 км;
- велогонки на 50, 100 и 200 км;
- плавание на 5, 10, 25 и 50 км.

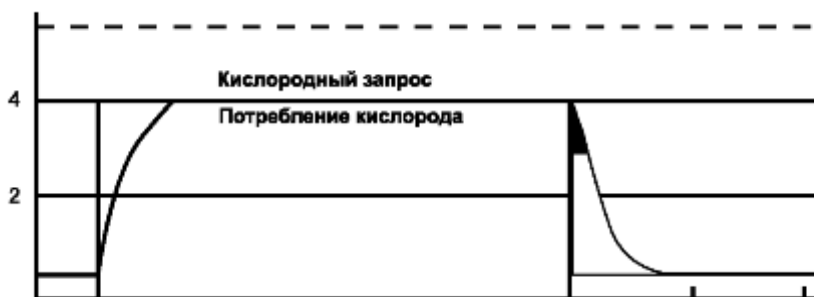
К этой же мощности относится большинство трудовых процессов с использованием мускульной силы.

Особенности

Все виды мышечной деятельности, проводимые в этой зоне относительной мощности, имеют две важные особенности:

- проводимая работа исключительно аэробная;
- минутный кислородный запрос всегда меньше, чем индивидуальная скорость МПК (рис. 11-5).

МПК



60 10 20

Покой Работа Восстановление

Рис. 11-5. Схема удовлетворения кислородного запроса в зоне умеренной мощности: потребление кислорода соответствует запросу, он существенно меньше, чем максимальное потребление кислорода (МПК). Кислородный долг незначительный

Основные закономерности

- После периода вработывания, длящегося 3-4 мин, все показатели деятельности физиологических систем устанавливаются на уровне, пропорциональном мощности выполняемой работы, но ниже максимальных их возможностей.

- Важной особенностью работы умеренной мощности является то, что она протекает при истинном устойчивом состоянии; кислородный запрос на большей части дистанции удовлетворяется во время работы.

- Это истинное устойчивое состояние не является абсолютным - на дистанции возникает необходимость в ускорениях, приводя-

щих к увеличению минутного кислородного запроса и накоплению кислородного долга небольшой величины. Например, к концу марафонской дистанции кислородный долг составляет всего 5-6 л.

По мере увеличения времени работы (длины дистанции) скорость спортсмена, как правило, падает, ухудшается координация, но при этом кислородный запрос несколько увеличивается, хотя остаётся всё же меньшим, чем индивидуальная скорость МПК. Это означает, что недостаток

кислорода не служит причиной пониженной скорости спортсмена на дистанции.

Причины ограничения интенсивности работы на дистанции

- Ухудшение функционального состояния двигательных нервных центров провоцируется уменьшением количества глюкозы в крови. Так, концентрация глюкозы в конце дистанции составляет всего 40-50 мг% при норме 100 мг%. О переходе на другой субстрат окисления свидетельствует и динамика колебаний концентрации молочной кислоты. Например, на пятом километре дистанции концентрация молочной кислоты составляет около 100 мг%, а к концу дистанции только 10-15 мг%.
 - Изменения метаболизма уменьшение дыхательного коэффициента до 0,8-0,7 и снижение содержания глюкозы и молочной кислоты свидетельствуют о том, что в конце дистанции основными субстратами окисления служат жиры; при этом в крови и моче обнаруживаются продукты ПОЛ, способные блокировать мембраны митохондрий, что ещё больше уменьшает эффективность окислительного фосфорилирования. На финише марафонской дистанции отмечается резкое ухудшение функционального состояния не только нервных центров, но и скелетных мышц, сердечной мышцы (понижается их возбудимость, лабильность). Восстановление после марафонской дистанции продолжается 2-3 дня, а полное восстановление наступает через 6-7 дней.
 - Особенно большие сдвиги при прохождении дистанции происходят в системе терморегуляции человека и в водно-солевом балансе организма.
- В связи с длительностью дистанции суммарный кислородный запрос (около 500-600 л) и суммарные энергозатраты организма велики. Соответственно доля тепла, выделяемого организмом при работе, составляет не менее 2,5 тыс. килокалорий.
 - Такая теплоотдача требует интенсивного включения потоотделения: теоретически требуется около 5 л пота при условии, что весь пот испаряется эффективно, а не скатывается с тела спортсмена, не успев испариться (профузное потоотделение).
 - Потеря большого количества воды с солями приводит к значительной дегидратации организма и резкому нарушению солевого баланса.
 - Дегидратация увеличивает вязкость крови, что увеличивает нагрузку на сердце, хуже оксигенируется кровь, а это ещё больше уменьшает коэффициент полезного действия мышечного сокращения.
 - Экспоненциально увеличивается доля АТФ, идущая на нагревание тела.
 - Значительный вклад в перегревание организма вносит разобщение окислительного фосфорилирования в результате блокирования мембран митохондрий продуктами ПОЛ.

- В результате развития всех перечисленных процессов температура внутренних сред тела марафонцев достигает 41,5-42,0 °C и выше. При неблагоприятных погодных условиях (высокая температура среды, высокая влажность воздуха, отсутствие обдува тела спортсмена) нередки тепловые обмороки и тепловые удары даже среди элитных спортсменов.

Соматотип определяет способность к адаптации в этом виде деятельности. В мышечной композиции успешных марафонцев преобладают медленные мышечные волокна.

Что касается физиологии труда, то почти все виды физической работы относятся к зоне умеренной мощности. Это не исключает кратковременных напряжений максимальной, большой или субмаксимальной мощности. При этом возможность ежедневно всё рабочее время совершать данную физическую работу без последствий для организма зависит от многих факторов:

- от часовых и суточных энергозатрат и их соотношения;
- от соотношения энергозатрат с основным обменом;
- от соотношения энергозатрат с аэробными возможностями организма;
- от соотношения энергозатрат с используемой для работы мышечной массой.

Классификация

Д. Диллом разработана и успешно применена классификация переносимости работы с ориентацией на основной обмен.

- Работа умеренной тяжести находится в границах утроенного основного обмена. Эта работа может продолжаться неограниченно долго (в пределах рабочего дня).
- К тяжёлой работе относят работу, при которой энергозатраты превышают основной обмен в 3-8 раз; при этом предполагаются определённые соотношения между отдыхом и повседневной деятельностью (пример для пятикратного превышения основного обмена см. в табл. 11-2).

Таблица 11-2. Соотношение между работой и деятельностью

Тип деятельности	Расход килокалорий
8 часов сна	$(70 \text{ ккал} \times 8) = 560 \text{ ккал}$
8 часов обычной деятельности	$(560 \text{ ккал} \times 2) = 1120 \text{ ккал}$
8 часов профессионального труда	$(560 \text{ ккал} \times 5) = 2800 \text{ ккал}$
Итого	4480 ккал

Есть и другие градации в названиях тяжести работ. Так, Г. Леманн выделяет десять степеней тяжести, но непременное условие то же - суточные энергозатраты не должны превышать 4,5 тыс. ккал.

Экологические факторы, повышающие основной обмен:

- пониженное атмосферное давление;
- гипер- и гипотермия, требующие дополнительных затрат для деятельности кардио-респираторной системы;
- интоксикация и облучение, усиливающие основной обмен за счёт дополнительного напряжения системы регенерации организма.

Эти факторы либо ограничивают (уменьшают) мощность работы, либо увеличивают продолжительность отдыха.

Наименее применяемая классификация - по максимальному уровню энергозатрат в определённой трудовой деятельности. Эта классификация решает специфические задачи сравнения уровня

энергозатрат в разных видах мышечной деятельности, не учитывая особенности каждой из работ. Так, например, по этому показателю могут быть одинаковыми работа землекопа и рубщика дров, при этом не принимается во внимание, что работа первого более равномерна по мощности, чем работа второго.

Все перечисленные классификации применимы к динамическому режиму мышечного сокращения (сокращение-расслабление), однако при статической работе, имеющей отличия от динамической, критерии переносимости будут несколько иными.

Характеристика статических усилий

Двигательная деятельность человека постоянно предполагает наличие длительного однообразного тонуса отдельных мышц по под- держанию позы или столь же однообразного тетанического напряжения большой группы мышц при фиксациях, поддержках, удержаниях груза, сохранении необычной позы (угол в «упоре», «крест» в гимнастике и т.д.).

Физиологические механизмы тонических и тетанических статических усилий при их внешних различиях одинаковы.

Внешние различия заключаются в длительности удержания статического положения:

- тонические (позные) статические усилия могут поддерживаться часами и десятками часов;
- тетанические максимальной мощности - десятками секунд.

По физиологическому механизму тонические и тетанические статические усилия отличаются только количественно. В состав мышц входит множество мышечных волокон, объединённых в двигательные единицы двух типов: быстрые и медленные.

Тонические усилия осуществляют главным образом медленные двигательные единицы, которые развивают малые мышечные напряжения и участвуют в поддержании позы:

- аэробное энергообеспечение способствует медленному развитию утомления (в 10-20 раз медленнее, чем у быстрых двигательных единиц);
- не все медленные двигательные единицы участвуют в этой работе одновременно, поскольку напряжение мышцы по поддержанию позы составляет не более 10-15% от максимально возможного напряжения;
- при утомлении одних медленных двигательных единиц нервная система «рекрутирует» вместо них другие, давая возможность

восстановиться первым. Соответственно поддержание позы может длиться неопределённо долго. *Тетанические* статические усилия требуют предельного напряжения максимального числа как быстрых, так и медленных двигательных единиц мышцы. При этом мышцы очень быстро утомляются и их напряжение падает. Представление о скорости развития утомления при статическом усилии по удержанию груза на вытянутой руке даёт рис. 11-6.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 11-6. Статическая работа. Отношение между предельным временем поддержания силы и отношением этой силы к максимальной силе

При удержании максимального груза задействованы все двигательные единицы, определяющие максимальную произвольную мышечную силу. По мере уменьшения груза остаётся некоторый резерв двигательных единиц, способных заменить утомлённые. По мере уменьшения груза резервы незадействованных двигательных единиц всё увеличиваются; пропорционально увеличивается время удержания груза. Наконец наступает такой момент, когда резервы незадействованных двигательных единиц становятся настолько велики, что успевают восстановиться единицы, задействованные первыми. В этом случае удержание такого груза может происходить неопределённо долго.

Таким образом, кривая показывает, что разница в тонических и тетанических статических усилиях чисто количественная, а длительность тонического статического усилия определяется резервами незадействованных двигательных единиц.

Статические усилия (тонические в меньшей степени) сопровождаются феноменами, которые не отмечаются при динамической работе («феномен статического усилия»). При выполнении статического усилия, как и при выполнении любой работы, начинается «развёртывание» физиологических функций для обеспечения мышечной деятельности кислородом и питательными веществами, а по окончании работы должно происходить минимизирование этих функций. Однако по окончании мощного статического усилия наблюдается дальнейшее усиление функционирования систем обеспечения (рис. 11-7). Причина «развёртывания» функций после

совершения работы в статических усилиях - поступление метаболитов, образовавшихся в мышце во время работы, в кровяное русло, так как при работе сокращённые мышцы сдавливают магистральные сосуды.

string language="ru">string language="ru">

Работа Восстановление

Рис. 11-7. Феномен статического усилия по потреблению кислорода (обозначен пунктиром) и по лёгочной вентиляции (А.В. Фомичев)

Соответственно, только с этого момента начинается рефлексорное развёртывание физиологических функций в ответ на действие недостаточной оксигенации тканей, высокую концентрацию метаболитов и т.д. Со снижением мощности статических усилий проявление этого феномена снижается и исчезает при статических усилиях тонического типа.

Таким образом, несмотря на небольшие суммарные энергозатраты, сопоставимые с динамической работой средней тяжести локально-регионального типа, статические усилия переносятся гораздо тяжелее, чем динамическая работа.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСЛЕ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

После окончания работы показатели деятельности всех физиологических систем постепенно возвращаются к своему исходному уровню. По скорости восстановления физиологических параметров оценивают функциональные резервы организма.

Закономерности процесса восстановления:

- медленнее восстанавливается внутренняя среда организма (количество и состав крови, внутриклеточные энергетические ресурсы, структуры, разрушенные во время работы и т.д.);
- по окончании процесса восстановления структуры, принимавшие участие в работе, как правило, не только восстанавливаются до исходного уровня, но превышают его, в силу чего работоспособность данной структуры повышается.

Восстановление - адаптивная реакция всего организма на нагрузку с целью повысить выносливость человека к такой нагрузке.

Выносливость - способность организма длительно совершать специфическую работу. Выносливость имеет под собой реальную структурную базу в организме в зависимости от характера выполняемой работы:

кислородтранспортную систему, мышечные волокна, состояние ЦНС. То есть, не правомерно применение такого понятия - «выносливый человек» вообще; следует говорить о выносливости определённого человека к какой-то работе благодаря наличию в его организме развитой структуры, позволяющей длительно выполнять именно этот вид деятельности или сходный с ним. Конкретный вид выносливости может быть повышен за счёт

увеличения мощности структуры, от которой зависит длительное выполнение данной работы. Увеличение мощности структуры происходит в восстановительном периоде.

Восстановительный период

Восстановительный период - многофазный процесс. Он начинается ещё во время работы, и интенсивность его прямо пропорциональна мощности работы. Окисление субстратов для восстановления запасов АТФ интенсивно происходит во время мышечной работы. Устойчивое состояние (при его наличии) и есть динамическое равновесие между процессами расщепления богатых энергией соединений и их ресинтезом. Однако даже в этих оптимальных условиях при длительной работе ассимиляционные процессы не могут полностью уравновесить процессы диссимиляции. По окончании работы начинают преобладать ассимиляционные процессы.

Восстановление показателей деятельности физиологических систем происходит неодновременно (гетерохронно) и с разной скоростью. При этом скорость снижения показателей деятельности систем сначала велика, затем она уменьшается.

Механизмы изменения мощности

После резкого прекращения работы столь же резко замедляются процессы диссимиляции, поэтому нет необходимости поддерживать функционирование систем на прежнем уровне. Однако уровень метаболизма должен быть выше, чем он был до работы, для приведения к норме всех показателей гомеостаза организма (рН среды, уровня глюкозы, выделения метаболитов и др.). Даже полное возвращение показателей деятельности вегетативных систем к исходному уровню не означает окончания восстановительных процессов. Например, изменение интенсивности деятельности физиологических систем не может сразу уменьшить вязкость крови, повысившуюся вследствие потери жидкости путём потоотделения. После произведённой работы организм старается нормализовать количественные параметры гомеостаза (ОЦК, уровень глюкозы в крови, рН среды и др.), которые восстанавливаются достаточно быстро.

- Восстановление разрушенных структур происходит поэтапно. Полное разрушение и удаление повреждённых структур. - В процессе совершения работы, особенно длительной и мощной, происходит разрушение некоторых биологических структур либо в силу истощения их ресурса, либо под воздействием самой работы (микротравмы, блокировка мембран продуктами метаболизма и т.д.). Кроме того, длительная работа биологических структур в экстремальном режиме приводит к преждевременному истощению их ресурсов.

- Для полного восстановления работоспособности организма необходимо заменить вышедшие из строя биологические структуры новыми. Чтобы это сделать, нужно полностью разрушить и удалить вышедшие из строя

структуры и освободить место для новых, которые ещё предстоит синтезировать.

- Процесс разрушения вышедших из строя биологических структур продолжается 6-12 ч. Об этом свидетельствует повышенная концентрация литических ферментов в работавших тканях. Субъективно процесс разрушения биологических структур можно почувствовать по мышечным болям ломящего характера, возникающим через 4-6 ч после выполнения непривычно мощной или длительной работы.

- Синтез новых структур.

- Наряду с продолжающимся процессом диссимиляции ставших неэффективными в процессе работы структур, через 8-12 ч в тканях начинает повышаться концентрация рибонуклеиновых кислот. Этот факт свидетельствует о том, что активизировались гены в ядрах соответствующих клеток и начинается транскрипция РНК, несущих информацию о построении новых белковых структур. Повышение концентрации РНК продолжается около 2 суток. Затем она постепенно возвращается к норме.

- Вслед за повышением концентрации РНК (примерно через 20-28 ч) в тканях начинает возрастать концентрация аминокислот и полипептидов - составных частей белков.

- Через 120-140 ч концентрация всех вышеперечисленных групп веществ возвращается к исходному уровню, свидетельствуя об окончании процесса замены вышедших из строя структур новыми, синтезированными в процессе восстановления.

Чрезвычайно важно то обстоятельство, что вновь синтезированные структуры, пришедшие на смену старым, отличаются повышенной мощностью по сравнению со старыми и позволяют повысить мощность или продолжительность работы, в ответ на которую и произошли вышеописанные перемены.

Процесс развития мышечной гипертрофии миофибриллярного типа в восстановительном периоде схематически представлен на рис. 11-8. В результате мощной и длительной работы в мышцах и крови накапливаются метаболиты и продукты распада биологических структур. Чем мощнее и длительней силовая работа, тем больше

Рис. 11-8. Схематическое изображение механизма развития мышечной гипертрофии миофибриллярного типа

ше накапливается продуктов распада. Хеморецепторы организма раздражаются метаболитами тем больше, чем выше концентрация последних. Соответствующие нервные центры анализируют информацию, поступающую от хеморецепторов и проприорецепторов, и активируют железы внутренней секреции. Гормональный ответ стимулирует генный

аппарат клеток для увеличения белкового синтеза, адекватного выполненной нагрузке. Адекватность заключается в том, что после перестройки биологических структур с помощью специфических вновь синтезируемых белков структура становится мощнее, соответственно выносливость организма к такой работе повышается; также увеличивается сила мышц, участвовавших в работе и последующем восстановлении.

Фаза суперкомпенсации

Фаза суперкомпенсации - фаза повышенной работоспособности, наступающая через некоторое время после работы. Теория физического воспитания, основываясь на учении о фазе суперкомпенсации, создаёт фундамент для обоснования тренировочного процесса - после выполнения непродолжительной, но достаточно мощной рабо-

ты, через некоторое время после её окончания повторное выполнение той же работы приводит к лучшему результату.

На рис. 11-9 показано изменение работоспособности в процессе восстановления. Время наивысшей работоспособности в процессе восстановления зафиксировано именно на 20-й минуте. Оно может меняться в широком диапазоне в зависимости от характера, мощности и продолжительности первой работы. Фаза суперкомпенсации сменяется вскоре понижением работоспособности, иногда даже ниже исходного уровня, затем следует новое повышение работоспособности, но меньшей амплитуды и т.д.

string language="ru">string language="ru">

Рис. 11-9. Изменение работоспособности в процессе восстановления после жима штанги двумя руками «до отказа» (Б.С. Гиппенрейтер): горизонтальная пунктирная линия - исходный уровень работоспособности (100%); столбики - работоспособность при повторных жимах штанги «до отказа» на разных минутах восстановления

Физиологический механизм этого феномена состоит в том, что после совершения работы в двигательных нервных центрах, а также в центрах регуляции физиологических функций остаётся так называемое «послерабочее возбуждение». Это послерабочее возбуждение

держит регулируемую функцию под большим тонусом, чем до работы, обеспечивая большую её работоспособность. Это не что иное, как «ошибка регулирования» функций (избыточное регулирование). В пользу этого свидетельствует и тот факт, что у высококвалифицированных спортсменов, процессы регулирования функций которых точнее и экономичней, фазу суперкомпенсации либо не отмечают вовсе, либо она выражена нечётко.

Периоды повышенной работоспособности

В процессе восстановления существуют два периода, когда работоспособность организма повышена.

- Период повышенной работоспособности, основанный на структурной перестройке органов и систем в ходе восстановления. Соответственно эти адаптивные изменения обеспечивают долговременное повышение работоспособности, длящееся неделями и более. В случае невыполнения точно такой же работы или работы большей мощности постепенно происходит регресс структур, подвергнутых адаптивной перестройке, и работоспособность пропорционально снижается.
- Период суперкомпенсации, в котором также повышается работоспособность организма, но она не основана на структурных перестройках органов и систем и поэтому имеет временный характер, исчисляемый минутами или десятками минут, и носит фазный характер, когда вслед за повышением работоспособности отмечается временное её понижение.

ОБОСНОВАНИЕ ВРАБАТЫВАНИЯ И РАЗМИНКИ Вrabатывание

Вrabатывание - постепенное повышение работоспособности в процессе деятельности. Это формирование адекватной функцио-нальной системы физиологического обеспечения данной конкретной мышечной или иной деятельности человека взамен прежней, имевшей место в состоянии покоя. Физиологический механизм вrabатывания

С началом мышечной деятельности резко возрастают требования к её энергетическому обеспечению. Известно, что фосфагенной энергетической системы хватило бы не более чем на 6-7 с предельной работы. Поэтому возникает необходимость в мобилизации более

ёмкого аэробного механизма энергообеспечения до уровня, пропорционального мощности работы или предельного (при мощности работы, превышающей предельные физиологические возможности человека). Соответственно, формируется новая функциональная система обеспечения деятельности.

Формирование функциональной системы

Формирование этой функциональной системы происходит рефлекторным путём.

- С началом работы в ЦНС поступает информация от проприорецепторов работающих мышц, хеморецепторов, реагирующих на изменение среды, рецепторов, реагирующих на оксигенацию тканей, и рецепторов, дающих информацию о состоянии вегетативных органов.
- После афферентного синтеза поступающей информации формируется программа действия, по которой соответствующие вегетативные центры (респираторный, центр регуляции сердечной деятельности и др.) усиливают деятельность своих исполнительных органов.

- После оценки результатов действия в сопоставлении с обстановочной афферентацией формируется или уточняется новая программа действия - и так до достижения уровня развёртывания физиологических систем, адекватных данной конкретной мышечной работе.

Время вработывания для разных вегетативных функций различно:

- быстрее всего вработывается мышечная система, своего оптимального состояния (возбудимость, лабильность и др.) мышечный аппарат достигает на первых же десятках секунд работы;
- кардио-респираторная система вработывается не менее 3 мин;
- дольше всего достигает устойчивого состояния система терморегуляции - время вработывания составляет 20 мин.

С этим связан интересный феномен, наблюдающийся иногда у малотренированных спортсменов при работе большой мощности. На 2-5-й минутах работы отмечаются резкие изменения в деятельности вегетативных функций. Затрудняется дыхание (особенно на фазе выдоха), возникают колющие боли в мышцах. Нарушается координация движений с включением в работу «ненужных» мышц. Возникают затруднения с расслаблением мышц, отчего движения становятся напряжёнными. Резко возрастает ЧСС, ощущается сухость во рту,

появляется ряд других неприятных симптомов, снижающих работоспособность. Это состояние называют «мёртвой точкой».

С прекращением мышечной деятельности в состоянии «мёртвой точки» сразу же наступает нормализация всех физиологических функций, что указывает на рефлекторную природу возникновения данного явления. Если работа не прекращается, но лишь снижается её мощность, все перечисленные негативные изменения в вегетативных функциях в течение 2-3 мин исчезают, и вновь уровень «развёртывания» функции становится пропорциональным мощности работы. При этом резко увеличивается скорость потоотделения. Выход из состояния «мёртвой точки» назвали состоянием «второго дыхания».

Физиологический механизм возникновения состояния «мёртвой точки» сложен и неоднозначен. Основная причина возникновения этого состояния - временное нарушение соответствия в деятельности двигательного аппарата и физиологических систем.

Разминка

В спортивной практике, в балете и некоторых видах трудовой деятельности перед основной работой принято проводить так называемую разминочную работу.

Разминка - заблаговременная подготовка организма к основной работе с помощью предварительной мышечной работы. Она может включать в себя бег, комплексы силовых или скоростных упражнений, растяжения и т.д. Как

правило, мощность этих упражнений невелика - 30-40% от МПК и менее. Длительность варьирует от 5 до 20 мин. Пауза между разминочной и основной работой также значительно варьирует: от 5 до 20 мин.

Разминку принято подразделять на общую и специальную:

- в общей части могут присутствовать упражнения, никак не связанные с основной работой;
- в специальной части спортсмен выполняет упражнения, близкие по структуре к основным, соревновательным.

Широкое разнообразие длительности разминки, интервалов отдыха после разминки и набора упражнений объясняется многообразием задач разминки и различиями в физиологических механизмах её воздействия на соревновательную работу, а также многообразием видов спорта.

Значение разминки:

- ускорение вработывания;
- минимизация энергообеспечения основной работы;
- снижение травматизма;
- увеличение мощности силовой работы.

Механизмы действия разминки

- При разминочной работе развивается рабочая гипертермия тела, сохраняющаяся до 20-30 мин после окончания работы.
- Нагретые мышцы и сухожилия обладают пониженной вязкостью, что уменьшает травмоопасность в основной работе, особенно при выполнении движений.
- Повышенная температура тела увеличивает скорость протекания биохимических реакций.
- В тех видах спорта, где следует проявить максимальную мощность мышечного аппарата, повышение температуры мышц увеличивает их АТФазную активность, и мышцы могут развить большую мощность по сравнению с неразогретыми. Однако если вид спорта требует экономизации энергоресурсов при малой мощности работы, то разогрев тела деэкономизирует энергообеспечение.
- Другой физиологический механизм, объясняющий ускоренное вработывание после разминки, состоит в том, что после разминочной работы в периоде восстановления наступает фаза суперкомпенсации. Если после разминки фаза суперкомпенсации попадет по времени на начало соревновательной работы, то вработывание ускорится.

В сложнокоординационных видах спорта после общей части разминки, механизмы которой описаны выше, спортсмены выполняют элементы

соревновательной деятельности. После общей части разминки опорно-двигательный аппарат становится несколько иным: изменяется вязкость и возбудимость мышц, возбудимость нервных центров и др. Соответственно появляется необходимость в апробировании двигательного навыка на изменившемся нейромоторном аппарате, ибо малейшая неточность в осуществлении сложнокоординационного движения может значительно снизить спортивный результат.

ЭКОЛОГИЯ ВАХТОВОГО ТРУДА

Вахта (вахтовый труд) - особый вид интенсивной деятельности человека, связанный с неоднократными перемещениями, климато-

зональными контрастами, напряжением физиологических функций, сдвигами биологических ритмов на фоне незавершённой адаптации.

Традиционно применяют классификацию вахт по типу перемещений.

- Вахта 1-го типа, или «ближняя», предполагает перемещения в пределах одной природно-климатической зоны, в границах 1-2 часовых поясов. Вахтовые бригады, проживающие в базовых посёлках районов нового промышленного освоения, доставляются наземным и воздушным транспортом к промышленным объектам, где они отработывают 8-12-часовую смену, и возвращаются на отдых обратно.
- Вахта 2-го типа, или экспедиционная, связана с челночными перемещениями бригад специалистов из других районов страны на расстояние до 2000-3000 км и более.
- Экспедиционно-вахтовый метод включает перелёт из мест постоянного проживания в базовые пункты на Севере, доставку работников автомобилями, вездеходами или вертолётами к месту труда в вахтовый посёлок полевого типа. Работу ведут в различных режимах (8 через 8 ч, 12 через 12 ч и др.) в течение 12-30 дней и более. После этого бригады возвращаются в места постоянного жительства, а через определённое время вновь вылетают на вахту.

В данной классификации основное значение имеют биоритмологические аспекты, вопросы хронофизиологии перемещений сменного труда. Хронофизиологическая проблема становится особенно сложной в Заполярье, где вахтовый труд ещё долго останется единственно приемлемым методом освоения новых территорий.

Функциональные состояния организма и вахтовый труд

Вахтовая организация труда порождает комплекс специфических условий, вызывающий напряжение организма. Основные факторы возмущающего воздействия:

- климатический контраст районов постоянного проживания и работы;
- смещение или ослабление геофизических датчиков времени;

- интенсивный труд, сменяющий длительный период отдыха;
- изменение социального окружения и психологического микроклимата вахтовых коллективов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Назовите основные понятия динамической работы и дайте их характеристику.
2. Классифицируйте физические упражнения и назовите их физиологические особенности.
3. Что такое относительная мощность работы? Какие существуют типы работы по признаку относительной мощности?
4. Дайте физиологическую характеристику статических усилий.
5. Назовите закономерности процесса восстановления после физических нагрузок.
6. Что такое фаза суперкомпенсации в процессе восстановления, её значение.
7. Дайте определение процесса вработывания, назовите его физиологические предпосылки.
8. Назовите физиологические механизмы действия разминки.
9. Дайте определение вахтового труда, назовите типы вахт.
10. В чём принципиальное отличие адаптивных перестроек при однократных и многократных перемещениях?
11. Назовите общие закономерности изменений физиологических реакций при экспедиционно-вахтовом труде.

ГЛАВА 12. ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

В главе рассмотрены: концепция свойств нервной системы, общие свойства нервной системы и целостные формально-динамические характеристики индивидуальности, психофизиологические аспекты профессионального отбора и профессиональной пригодности, психофизиологические компоненты работоспособности, психофизиологические детерминанты адаптации человека к экстремальным условиям деятельности.

Концепция свойств нервной системы

Экологическая психофизиология занимается изучением психофизиологических механизмов воздействия на человека экологически вредных факторов, нарушающих психическую деятельность и поведение человека. В сферу её интересов входят:

- разработка методов диагностики нарушений психических функций и состояний, возникающих под влиянием разного рода экологических факторов, с использованием объективной регистрации физиологических реакций организма;
- создание системы психофизиологического мониторинга функциональных состояний и психических функций человека с учётом норм допустимых отклонений в психическом здоровье;
- разработка мер профилактики и коррекции психофизиологических нарушений, вызванных экологическими факторами;
- выяснение роли индивидуальных психофизиологических свойств, как усиливающих защитные функции организма, так и делающих его уязвимым к воздействию вредных средовых факторов.

Индивидуально-типологические характеристики

Комплекс индивидуально-психологических характеристик включает следующие свойства:

- повышенная личностная и реактивная тревожность, высокая импульсивность, слабость самоконтроля (торможения) делают человека предрасположенным к патологии;
- низкая индивидуальная тревожность, умение контролировать свои действия и поступки, отсутствие импульсивности увеличивают защитные функции организма по отношению к вредным воздействиям окружающей среды.

Быстрое или медленное появление функциональных отклонений когнитивной деятельности и состояний в условиях агрессивной

экологической среды может быть предсказано по наличию у человека определённого комплекса индивидуальных психологических характеристик.

Общие свойства нервной системы

Согласно концепции отечественной школы дифференциальной психофизиологии, свойства нервной системы проявляют себя прежде всего в динамическом аспекте поведения (скорость, темп, напряжённость, вариабельность и т.д.) и в меньшей степени обнаруживаются в содержательных аспектах деятельности (побуждения, мотивы, цели, знания и т.д.).

Б.М. Теплов сформулировал предположение о том, что темперамент и задатки способностей определяются свойствами нервной системы. В школе Б.М. Теплова для характеристики типов ВНД человека использованы четыре параметра: сила, подвижность, уравновешенность и динамичность. Была установлена корреляция силы возбуждения с абсолютной сенсорной чувствительностью - у испытуемых со слабыми нервными процессами латентные периоды реакций на минимальный (пороговый) раздражитель короче, потому что их сенсорная чувствительность выше, чем у испытуемых с сильными нервными процессами.

По мнению В.Д. Небылицына, животные слабого типа именно за счёт развития такой сенсорной чувствительности, возможно, выжили в соревновании с животными сильного типа. В.Д. Небылицын различал два главных ортогональных параметра в структуре темперамента: общую активность и эмоциональность.

- Общая активность, выступающая в качестве одного из внутренних условий деятельности, обуславливает «...внутреннюю потребность, тенденцию индивида к эффективному освоению внешней действительности, к самовыражению относительно внешнего мира». Общая активность объединяет такие индивидуальные качества, которые соответствуют понятию формально-динамических особенностей личности, образующих континуум от «инертности и пассивного созерцательства. до высших степеней энергии».
- Под эмоциональностью В.Д. Небылицын понимал целый комплекс качеств, «описывающих динамику возникновения, протекания и прекращения различных эмоциональных состояний». Он выделял три аспекта эмоциональности:
 - впечатлительность (эмоциональная чувствительность) выражает эмоциональную восприимчивость индивида, его чувствительность к эмоциогенным стимулам (или ситуациям);
 - импульсивность отражает, насколько легко трансформируются эмоции в побуждение (мотив) к действиям без их предварительного обдумывания;

- эмоциональная лабильность характеризует скорость перехода от одного эмоционального состояния к другому.

Профессиональный отбор

В процессе профессионального отбора процедура выявления статической картины наличных знаний, навыков и умений человека была заменена системой проверки и измерения у данного индивида его способностей к приобретению новых, специфических для данной деятельности функций и навыков к обучению. Кроме того, в систему профессионального отбора стали включать испытания, оценивающие индивидуально-психологические и личностные качества человека, одни из которых поддаются целенаправленному воздействию или воспитанию, а другие являются более стойкими и практически не меняются под влиянием жизненного опыта человека. Последние находятся в более тесной связи с нейрофизиологическими особенностями субъекта и поэтому были охарактеризованы как «психофизиологические качества индивидуальности». К ним можно отнести такие качества, как эмоциональная уравновешенность, самообладание, выдержка, способность к сосредоточению, переключаемость, объём и распределение внимания и т.п.

В основу психофизиологической системы профотбора вошли следующие параметры:

- связь силы нервных процессов с порогами ощущения, концентрацией внимания, спонтанной отвлекаемостью и помехоустойчивостью;
- зависимость скорости переключения с одной деятельности на другую от подвижности нервных процессов в микроинтервалы времени;
- влияние на пропускную способность оператора и реакцию на предвиденные стимулы (появление периода «психической рефрактерности» и принятие логических решений);
- «концентрируемость» нервных процессов, которая определяет реакции индивида на некоторые особые ситуации подвижности и уравновешенности нервных процессов;
- «прочность» однажды образованных связей, составляющая основу прочности запоминания.

Отмечено, что для экстремальных ситуаций, вызывающих состояния стресса или напряжённости, роль врождённых свойств нервной системы существенно увеличивается. Если экстремальность условий не очень велика, то оказывается возможной компенсация недостающих качеств.

Психофизиологические компоненты работоспособности

Способность человека к выполнению конкретной деятельности в рамках заданных временных лимитов и параметров эффективности определяет

содержание работоспособности как основной составляющей надёжности человека. Для её оценки используют:

- показатели эффективности или продуктивности деятельности;
- показатели самочувствия человека;
- психофизиологические показатели состояния систем и функций организма, которые входят в качестве обеспечивающих и оперативных компонентов в функциональную систему деятельности (ЧСС, электропневмограмма, электромиограмма, электроокулограмма, кожно-гальваническая реакция и др.)

Выделены следующие стадии работоспособности (рис. 12-1).

- Стадия вработывания, которая включает три подстадии:
 - первичной мобилизации - наблюдается в момент начала деятельности и длится до нескольких минут, характеризуется кратковременным снижением значений практически всех показателей деятельности и активации физиологических систем;
 - гипермобилизации - охватывает «предстартовый» период, характеризуется повышением как неспецифической активации, так и специфических сдвигов. На психологическом уровне происходит построение плана деятельности и мысленное «проигрывание» её ключевых этапов. Постепенное повышение работоспособности сопровождается выраженными колебани-

string language="ru">string language="ru">

Рис. 12-1. Стадии работоспособности, выделенные по соотношению показателей деятельностного, психического и психофизиологического уровней функциональной системы деятельности (разделены вертикальными линиями): 1 - вработываемость; 2 - оптимальная работоспособность; 3 - полная компенсация; 4 - неустойчивая компенсация; 5 - конечный порыв; 6 - прогрессивное снижение работоспособности; а - максимальные резервные возможности; б - эффективность работы; в - утомление; г - напряжённость

ями продуктивности, точности, качества работы и состоянием повышенной нервно-психической напряжённости: учащением пульса и дыхания, повышением кровяного давления, депрессией α -ритма, повышением доли θ - и β -ритмов ЭЭГ; - гиперкомпенсации - происходит поиск наиболее адекватного приспособления к требованиям деятельности и формирование устойчивого динамического стереотипа деятельности.

- Стадия оптимальной работоспособности характеризуется стабильными параметрами деятельности и организма. Статистически значимых изменений в психофизиологических показателях не наблюдается.

- Стадия полной компенсации постепенно приходит на смену предыдущей и отражается в снижении работоспособности и развитии начальных признаков состояния утомления, субъективно переживаемом как состояние усталости.
- Стадия неустойчивой компенсации (или выраженного утомления) характеризуется нарастающим утомлением и снижением работоспособности. В этом состоянии наблюдается выраженное чувство утомления и разнообразные по направленности и интенсивности изменения психофизиологических показателей как следствие сложного взаимодействия активационных, регуляторных и компенсаторных систем различного уровня.
- Стадия «конечного порыва» - в конце работы при адекватном воздействии на мотивационно-волевою сферу, в особенности при наличии высокозначимых для субъекта целей, может происходить кратковременное повышение продуктивности за счёт привлечения «неприкосновенных» психофизиологических резервов организма.
- Стадия декомпенсации - прогрессивное снижение работоспособности, когда быстро нарастают симптомы утомления, снижается продуктивность, эффективность работы и наблюдаются значительные сдвиги во всех психофизиологических показателях, связанных с системами активации.

Доминанты - конкретные определители поведения - влекут человека к напряжённой деятельности, к тратам потенциала, но они же создают новые, более высокие уровни энергетического потенциала.

Психофизиологические детерминанты адаптации человека

На основе системного анализа в сформированной психофизиологической системе адаптации выделяют следующие компоненты: активационный, мотивационно-волевой и когнитивный.

Активационный компонент связан с органическими и функциональными затратами, направленными на достижение значимых для субъекта целей и компенсацию факторов, препятствующих достижению этих целей.

На основе анализа взаимодействия ЭЭГ-показателей активационного и продуктивных параметров когнитивного компонента адаптации в операторской деятельности были выделены когнитивные стратегии адаптации, определяющие динамику эффективности деятельности и характер распределения физиологических ресурсов:

- I - гибкая - проявляется в том, что каждый вновь поступающий стимул обрабатывается испытуемым в контексте более общей субъективной структуры стимульной последовательности, связанной с просчётом вероятностей «сигналов» и «шумов»;
- II - мобилизационная - характеризуется привлечением дополнительных ресурсов в сочетании с их концентрацией;

- III - компенсаторная - связана с концентрацией ресурсов на коротких промежутках времени, поэтому углубленная переработка стимула происходит дискретно, чередуясь периодами высокой и низкой продуктивности;
- IV - стратегия «угадывания» - реагирование по типу случайного угадывания, когда испытуемый поддерживает минимальный уровень активации, что не позволяет качественно перерабатывать информацию.

В качестве механизма адаптации выступает формирование разнообразных когнитивных стратегий, связанных с изменением глубины и цикличности переработки сенсорной информации, «просчётом» структуры стимульной последовательности и др. Использование той или иной стратегии зависит от объёма психофизиологических ресурсов: гибкая и мобилизационная стратегии реализуются преимущественно при большом объёме ресурсов, а стратегии компенсации и угадывания - при дефиците ресурсов.

Колебательный характер психофизиологических процессов, усиливающийся в изменённых психофизиологических функциональных состояниях, объясняет причины пропуска значимого сигнала и появление отказов и «провалов» (*lapses*) в деятельности оператора вследствие ухудшения функционального состояния человека. Выделены «провалы» трёх видов:

- «пульсары» - пропуски сигналов, не связанные со значительным изменением ЭЭГ, когда испытуемый как бы «теряет» сигнал и начинает использовать стратегию угадывания;
- конструктивные «провалы» - провалы типа микросна, сопровождающиеся резким увеличением мощности медленных волн и уменьшением мощности α - и быстрых волн; после самостоятельного пробуждения наблюдается даже повышение продуктивности обнаружения сигнала;
- деструктивные «провалы», когда для пробуждения требуется постороннее вмешательство и продолжение деятельности становится практически невозможным; характеризуются увеличением мощности медленных волн ЭЭГ и уменьшением мощности β_2 -ритма и наблюдаются при выраженной деформации функционального состояния испытуемого.

Психофизиологические данные помогают на практике различать состояния психической адаптации и дизадаптации, выявлять динамику и формы процесса адаптации, уровни и варианты адаптационных систем, а также определять группы факторов, влияющих на процесс адаптации, которые усиливают или уменьшают компенсаторные возможности и ресурсы человека.

Психофизиологические функциональные состояния

Психофизиологические функциональные состояния - системная реакция, обеспечивающая необходимый уровень обеспечения деятельности и компенсации возникающих затруднений. Основным критерий изменения

состояния - изменение характера ресурсного обеспечения; поэтому именно этот аспект является базовым в исследованиях психофизиологических функциональных состояний и обуславливает применение электрофизиологических методов для их объективной оценки (полиэффекторный метод).

Определены типичные для профессиональной деятельности психофизиологические функциональные состояния: монотония, утомление и напряжённость.

Напряжённость профессиональной деятельности

Преобладание когнитивного или эмоционально-активационного компонентов определяет развитие эмоциональной напряжённости. Кроме того, необходимо различать продуктивную и непродуктивную формы напряжённости.

Важный аспект адекватного обеспечения деятельности - способ саморегуляции индивида. Индивидуальный стиль саморегуляции является результатом взаимодействия двух механизмов:

- на психодинамическом уровне - механизма экстра-интраверсии, который обеспечивает поведенческую и эмоциональную вариативность;
- на физиологическом - преобладание определённого типа вегетативной регуляции, ответственного за энергетическое обеспечение психической деятельности.

Типы реакции на внешние воздействия

В зависимости от стиля саморегуляции наблюдаются различные реакции в ответ на воздействия окружающей среды.

- У лиц с гармоничным стилем (экстравертов с высокой энергетикой) оба механизма работают как единое целое; у них достаточно жизненных сил, чтобы активно взаимодействовать с окружающим миром.
- Лица с экономным стилем саморегуляции (интровертов с низкой энергетикой), имея слабые энергетические ресурсы, осторожны, стараются не тратить свои эмоции понапрасну, и если им приходится работать в условиях, требующих больших энергетических затрат, то у них быстро развиваются состояния утомления, депрессии и психического истощения. Однако в комфортных условиях этот стиль саморегуляции может быть для них оптимальным.
- Интроверты с эрготропным реагированием, будучи не очень активными в поведении и имея большие резервы, накапливают ресурсы и поэтому в напряжённых условиях могут позволить себе выплеснуть эмоции наружу, не ухудшая своего состояния. Их накопительный стиль саморегуляции также приближается к оптимальному.

- В наиболее сложной ситуации оказываются экстраверты с трофотропным реагированием, представители затратного стиля. Обладая низкими энергетическими ресурсами, в своем поведении они затрачивают массу энергии, что делает их стиль саморегуляции наиболее неэффективным и неоптимальным.

Поведение в условиях неопределённости среды

Под неопределённостью среды обитания следует понимать не только объективное, но и субъективное отсутствие её жёсткой обусловленности. Поведенческая активность в новых условиях первоначально часто внешне соответствует программе случайного поиска.

Адаптивное поведение основано на способности организма к изменению стратегии вероятностного прогнозирования в новой среде. Чрезмерно высокая степень неопределённости среды - основное условие формирования стрессорных реакций вплоть до возникновения информационного невроза. Однако сложные условия работы далеко не всегда отрицательно влияют на эффективность выполняемой функции мозга и могут способствовать дополнительной мобилизации внутренних ресурсов.

Вероятностный характер принимаемых решений, в свою очередь, предполагает необходимость предварительного накопления информации, получаемой в ходе выполнения многочисленных поисковых поведенческих актов. Процессы памяти выступают в качестве основных психологических механизмов, посредством которых обеспечивается организация и регуляция деятельности в целом и отдельных её этапов и уровней.

Поведение - вид деятельности, который изменяет вероятность и продолжительность контакта с внешним объектом, способным удовлетворить имеющуюся у организма потребность. Факторы, определяющие поведение: наличие определённой доминирующей потребности (мотивационный компонент) и прогнозирование вероятности достижения этой потребности (информационный компонент).

Мотивационные компоненты проявляются главным образом в величине поисковой активности и зависят при этом от сигналов внешней среды. В структуре мотивационной регуляции поведения можно выделить два компонента:

- содержательный, который отражает уровень значимости мотива для индивида;
- динамический, который связан с вероятностью достижения цели, субъективным уровнем доступности внутренних и внешних средств для реализации данного поведения.

На мотивацию ценности при достижении цели ориентируются преимущественно лица сильного, подвижного типа, а на высокую вероятность её достижения - лица слабого типа.

Взаимодействие физиологических и психологических механизмов в процессе адаптации

В динамике адаптационного процесса с позиций психофизиологии можно выделить несколько фаз:

- начало действия фактора;
- стадию напряжения;
- стадию срыва;
- стадию поиска;
- стадию стабильной адаптации.

Стадия поиска - процесс нелинейный и во многом определяется инертностью включаемых механизмов. Как правило, наблюдаются два типичных варианта фазы поиска:

- гипермобилизационный;
- постепенный.

Наибольшее значение психологические компоненты приобретают в фазу срыва, когда физиологические реакции не компенсируют действие неблагоприятного фактора. Решающим способом защиты в этот момент выступают психологические реакции. Ведущую роль в выборе и осуществлении этих реакций играют когнитивные процессы, реализующиеся в осознанном поиске варианта поведения. Не менее важны и психологические механизмы, действующие на

бессознательном уровне и обеспечивающие лучшее приспособление в различных ситуациях, способствуя устранению тревоги, смене мотиваций и более адекватному поведению.

Реакция организма на стрессорное воздействие определяется многими факторами:

- индивидуумы с активной стратегией поведения устойчивы к стрессорному воздействию при возможности контролировать ситуацию;
- реакция особей с пассивной стратегией поведения не зависит от фактора контролируемости ситуации.

Электрофизиологические параметры адаптивного поведения

Ряд экспериментальных данных свидетельствует об особой роли двух фокусов активности в коре передних областей левого и правого задних полушарий (ассоциативных центров). В состоянии покоя в этих областях регистрируется наибольшая концентрация кросскорреляционных связей корковых потенциалов (или полей повышенной активности).

Отчётливо проявляются индивидуальные изменения интенсивности переднего и заднего фокусов в зависимости от типа ВНД. Относительное преобладание передне-левого фокуса над задне-правым характеризует особенность и условия протекания аналитикоинтегративных процессов.

Переход от выполнения относительно лёгкой стандартной деятельности к сложной нестандартной сопровождается у разных индивидов неодинаковым изменением локализации полей повышенной активности:

- у испытуемых с высокой подвижностью нервных процессов отчётливо выражены оба фокуса активации при доминировании задне-правого фокуса;
- у испытуемых с низкой подвижностью нервных процессов наблюдается явное доминирование передне-левого фокуса.

Электрофизиологические корреляты тревожности

Необходимо разграничивать два типа тревоги:

- тревожную активацию (атаки паники и сильного психоэмоционального стресса);
- тревожные опасения (тревожные вербально выражаемые размышления по поводу предстоящих событий).

Индивидуальные стили переживания тревоги нашли своё отражение в особенностях региональных и межрегиональных оценок

активности ЭЭГ. Тревожная активация характеризуется симптомами гиперактивации ЭЭГ с более высокой правополушарной активностью. При этом тревожным опасениям присущ выраженный когнитивный компонент с относительной активацией левого полушария. Уровень тревожности также отражается в динамике ЭЭГ.

- Низкотревожным испытуемым присуща гибкая динамика межполушарных взаимоотношений (активация электрической активности при стимуляции).
- Высокотревожные испытуемые обнаруживают довольно ригидную организацию взаимодействий - эмоциональная стимуляция не оказывает значимых влияний на характер активационных асимметрий. В условиях интенсивной отрицательной эмоциональной стимуляции наблюдается ослабление взаимодействия между центрами, составляющими «когнитивную ось».
- У низкотревожных сангвиников при попытке воспроизведения эмоции страха наблюдается блокада α -ритма, при этом сердечнососудистая система достаточно инертна.
- У высокотревожных холериков наблюдаются застойные очаги активности во фронтальных и височных отделах, при воспроизведении эмоции страха отмечается значительный прирост мощности в α -диапазоне и активная реакция сердечно-сосудистой системы.

Межполушарная асимметрия как фактор адаптации человека в условиях Севера

Основное отличие двух типов переработки информации, связанных с типом межполушарной асимметрии, состоит в принципах организации связи между элементами информации - словами и образами. Механизмы левого полушария так организуют любой используемый материал (вербальный или образный), что создаётся однозначно понимаемый контекст. Отличительная особенность правополушарного типа - одномоментный охват всех существенных связей, что определяет многогранность и целостность образа в соответствующем контексте.

Электрофизиологический анализ распределения типов межполушарного реагирования выявил следующие данные.

- Среди обследованных представителей пришлого населения больше в 2-3 раза индивидов с преобладающим правополушарным типом переработки информации, чем в центральных районах (рис. 12-2 А, Б).

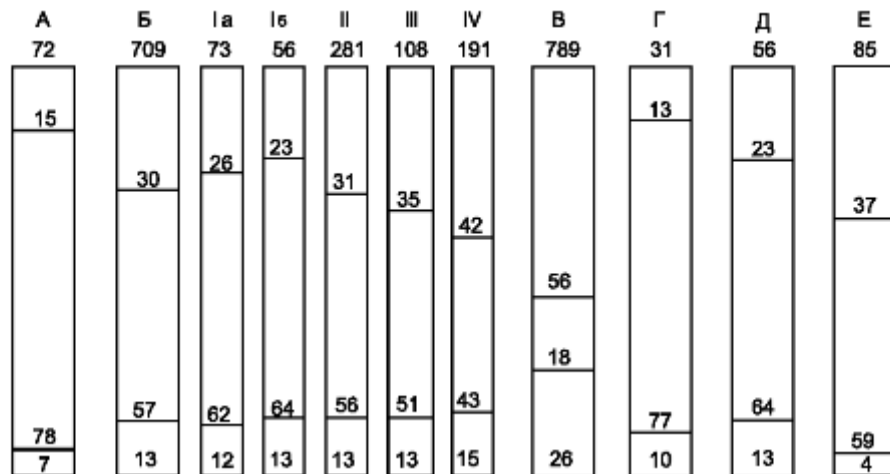


Рис. 12-2. Частота типов межполушарного реагирования среди жителей Москвы и Северо-Востока: А - жители Москвы; Б - пришлое население с различным сроком проживания на Северо-Востоке: Іа - вновь прибывшие, Іб - 1-3 г., ІІ - 4-10 лет, ІІІ - свыше 10 лет, ІV - с рождения; В - коренное население; Г - пришлое население, уволившееся и переселившееся в центральные районы страны; Д - психосоматические больные; Е - больные хроническим алкоголизмом из среды пришлое населения. Наклон штриховки вправо - правополушарный тип; влево - левополушарный тип; двойная штриховка - смешанный тип. Цифры внутри столбиков - процентные отношения, сверху - число испытуемых (по В.В. Аршавский и соавт., 1989)

- В популяции пришлое жителей Северо-Востока по мере увеличения длительности проживания в регионе частота встречаемости левополушарного типа снижается, а правополушарного и смешанного фенотипов возрастает.

- Популяция, длительно проживающая в регионе (III-IV группы) фенотипически удаляется (рис. 12-2, А) от жителей Москвы и приближается (рис. 12-2, В) к коренному населению.

Типы межполушарного реагирования и адаптация

Существует зависимость между типом реагирования и процессами психической адаптации.

- Среди правополушарных индивидов из пришлого населения количество неадаптированных личностей не зависит от срока проживания в регионе и не превышает 33%.
 - Среди левополушарных индивидов отмечена чёткая динамика в сторону увеличения «тревожных личностей». Если в начальные сроки пребывания на Севере их количество составляет 48%, то среди проживающих в регионе свыше 3 лет - 80%.
 - Среди лиц со смешанным типом реагирования количество людей, имеющих высокий уровень тревоги, всего лишь 19%.
- Выявленное распределение частот характеризует среду обитания человека. В Москве она предпочтительнее для лиц с относительным доминированием логико-вербального компонента мышления, а на Северо-Востоке - для лиц с доминированием пространственнообразного компонента.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что изучает экологическая психофизиология?
2. В чём заключается сущность концепции свойств нервной системы, разработанной И.П. Павловым?
3. Какие классификации типов ВНД вы знаете?
4. Назовите основные постулаты школы дифференциальной психофизиологии.
5. Какие параметры входят в психофизиологическую систему профессионального отбора?
6. Какие стадии работоспособности вы знаете?
7. Назовите когнитивные стратегии адаптации и охарактеризуйте каждую из них.
8. Дайте определение психофизиологических функциональных состояний.
9. Как реализуется поведение в условиях неопределённости среды?
10. Как изменяются параметры электроэнцефалографии при различных внешних воздействиях?
11. Какое значение имеет межполушарная асимметрия при адаптации человека к условиям Севера?

ГЛАВА 13. ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Промышленная, или инженерная, экология - система научно обоснованных инженерно-технических мероприятий по сохранению окружающей среды и здоровья человека в условиях растущего промышленного производства, осуществляемых в тесном взаимодействии с правовыми, социально-экономическими и санитарными мерами.

АТМОСФЕРА

Атмосфера - газовая оболочка Земли. Состояние среды обитания человека определяется физико-химическими свойствами воздуха, его газовым составом, влажностью и электрическими свойствами.

Классификация загрязнения атмосферы

- По масштабу.
 - Глобальный масштаб - выбросы веществ с большим периодом жизни в атмосфере с распространением в окружающей среде независимо от места их выброса (углекислый газ, фреоны, радионуклиды с периодом полураспада более одного месяца).
 - Региональный масштаб - выброс веществ с ограниченным временем жизни в атмосфере, приводящий к загрязнению крупного региона (оксиды сера и азота, пестициды, тяжёлые металлы).
 - Локальный масштаб - выброс веществ с малым периодом жизни в атмосфере на сравнительно небольшой территории (грубодисперсные аэрозоли, сероводород).
- По периодичности: постоянные и периодические (залповые).
- По физическим особенностям.
 - Вещественные (ингредиентные): механические, химические, биологические.
 - Энергетические (параметрические): тепловые, акустические, электромагнитные, ионизирующие излучения.
 - Вещественно-энергетические: радионуклиды.
- По направленности воздействия.
 - Прямое воздействие выбросов промышленности, теплоэнергетики, транспорта, сельского хозяйства.
 - Косвенное воздействие в результате нарушения экологического равновесия в других компонентах биосферы (например, вырубка лесов на больших площадях, создание крупных водохранилищ, мелиоративные работы, добыча полезных ископаемых открытым способом).

Санитарно-гигиенические показатели загрязнения атмосферы

При проектировании производственных зданий и санитарнозащитных зон вокруг них, технологических процессов, оборудования и вентиляции для контроля качества производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих применяют систему нормативов и показателей.

Гигиенический норматив - установленное исследованиями допустимое максимальное или минимальное количественное либо качественное значение показателя, характеризующего тот или иной фактор среды обитания с позиций его безопасности и безвредности для человека.

- ПДК - предельно допустимые концентрации веществ, количественно характеризующие такое содержание вредных веществ в атмосферном воздухе, при котором на человека и окружающую среду не оказывается ни прямого, ни косвенного вредного воздействия.
- ПДК_{м.р.} - предельно допустимые максимальные разовые концентрации за 20-минутный период для тех веществ, которые оказывают немедленное, но временное раздражающее действие.
- ПДК_{с.с.} - предельно допустимые среднесуточные концентрации (за год) для веществ, оказывающих вредное влияние на организм человека при накоплении.
- Класс опасности веществ - лимитирующий признак вредности вещества в атмосферном воздухе. При строительстве предприятий рассчитывают размер санитарно-защитной зоны исходя из предполагаемых выбросов вредных веществ, их ПДК_{с.с.} и класса опасности. Вредные вещества подразделяют на четыре класса опасности:
1-й класс - чрезвычайно опасные; 2-й класс - высокоопасные; 3-й класс - умеренно опасные; 4-й класс - малоопасные.
- ОБУВ - ориентировочные безопасные уровни воздействия вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Нормативы распространяются на рабочие места независимо от их расположения (в производственных помещениях, в горных выработках, на открытых площадках, транспортных средствах и т.п.) и, как правило, бывают временными, пока не установлены соответствующие ПДК.
- ПДК_{р.з.} - предельно допустимая концентрация рабочей зоны - концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных) работе в течение 8 ч или другой продолжительности рабочего дня, но не более 41 ч в неделю в течение всего рабочего стажа, не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых как в процессе работы, так и в отдалённые сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Гигиенические нормативы воздуха для населения и воздуха рабочей зоны различаются. Допустимые концентрации воздуха рабочей зоны, как правило, выше таковых для населения. Это связано с двумя факторами:

- на предприятиях работают взрослые здоровые люди (не дети, не беременные, не кормящие матери, не ослабленные возрастом или болезнью);
- на предприятии работники находятся ограниченное время, а не круглые сутки.

Суммация эффектов

Все виды ПДК применяют к отдельным веществам (загрязнителям или поллютантам). Однако в реальных условиях в результате хозяйственной деятельности человека в атмосферу попадают сотни различных веществ и соединений. Даже в отсутствие их химического или физического взаимодействия ответная реакция организма человека и животных может быть различной.

- Независимое действие: ответная реакция соответствует действию каждого отдельного вещества.
- Усиление эффекта (синергизм): ответная реакция на смесь превосходит аддитивный эффект отдельных загрязнителей.
- Ослабление эффекта (антагонизм): ответная реакция на смесь меньше эффекта отдельных загрязнителей.

Действие атмосферных поллютантов с одинаковым лимитирующим признаком можно характеризовать эффектом простого суммирования. Согласно действующим гигиеническим нормативам рассчитывают следующую величину (так называемый показатель Пинигина):

$$C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots + C_n/\text{ПДК}_n,$$

где:

$C_1, C_2, \dots, C_n$ - фактические концентрации веществ в атмосферном воздухе;
 $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$ - предельно допустимые концентрации тех же веществ.
 Сумма концентраций, нормированных на ПДК, не должна превышать единицы.

Рассеяние токсичных выбросов в атмосфере

Уменьшение токсического воздействия на человека со стороны промышленных предприятий осуществляют путём рассеивания выбросов в атмосферу. То есть промышленные загрязнители разбавляются более чистым атмосферным воздухом и функция их нейтрализации перекладывается на природные факторы. При этом, с одной стороны, предотвращается немедленная гибель природы от промышленных выбросов, а с другой стороны - возможна её деградация на больших пространствах.

Разработана математическая модель, позволяющая оценить концентрации выбросов в приземном слое атмосферы (2 м от поверхности земли) на различном расстоянии от источника загрязнения, а также на различной высоте в зависимости от физико-технических параметров источника и

климатогеографической зоны. На основе данной модели рассчитывают предельно допустимые выбросы для каждого конкретного предприятия.

Характеристики отдельных химических загрязнителей атмосферы

- Оксид углерода (II), угарный газ, CO - один из наиболее опасных загрязнителей, газ без цвета и запаха. Образуется в результате неполного сгорания ископаемого топлива (угля, нефти, газа) в условиях недостатка кислорода при относительно низкой температуре. Главный источник оксида углерода - автотранспорт - 60-90%. Экстремальные нагрузки на атмосферу возникают в час «пик» при слабом ветре. Пути уменьшения загрязнения: дожиг газов и альтернативные источники топлива. Механизм токсического действия CO связан с его способностью образовывать стойкое соединение с гемоглобином - карбоксигемоглобин (HbCO). Признаки отравления: головная боль, тошнота, раздражительность, одышка, боли в груди, обморочные состояния, окрашивание кожи и слизистых оболочек в алый цвет.

- Оксид углерода (IV), углекислый газ, CO₂ - продукт дыхания и сгорания топлива, газ без цвета, с кисловатым запахом и вкусом. Наряду с водяным паром и метаном относится к парниковым газам. Суть парникового эффекта сводится к пропусканию солнечного излучения, достигающего поверхности земли и нагревающего её и не пропускающее отражённое, длинноволновое излучение. В результате температура земной поверхности постепенно нагревается. За последние 25-30 лет транспорт и промышленность потребили больше кислорода, чем использовало человечество за весь исторический период цивилизации. Меры против потепления: энергосберегающие технологии, переход на использование газового топлива (на 43% меньше образование CO₂, чем при сгорании угля), поиск альтернативных источников энергии.

- Диоксид серы, сернистый ангидрид, SO₂ - продукт сгорания богатых серой видов горючего (уголь, мазут), газ без цвета с резким запахом.

SO₂ окисляется в SO₃ под действием озона, перекиси водорода и др.

Образовавшийся оксид серы (VI) реагирует с водой с образованием серной кислоты. Механизмы действия оксидов серы на живую и неживую природу:

- растения наиболее чувствительны к загрязнению оксидами серы, которые угнетают жизнедеятельность клеток листьев - в результате кислотных дождей листья покрываются бурыми пятнами и впоследствии засыхают;

- человек и животные - раздражение слизистой оболочки глаз, дыхательных путей, вплоть до отёка лёгких;

- неживая природа и продукты человеческой деятельности - закисление водоёмов; коррозия металлических элементов конструкций, разрушение строительных растворов и камня.

- Оксиды азота, NO_x . NO_2 - бело-красный газ с резким неприятным запахом. Источники: горение, производство азотных удобрений, азотной кислоты, нитратов, анилиновых красителей, целлулоида. Половину выбросов оксидов азота обуславливает транспорт, треть - энергетика, остальное - промышленные предприятия и бытовой сектор. Особенность оксидов азота превращаться друг в друга обуславливает широкий спектр их воздействия на живую и неживую природу. N_2O_5 и NO_2 сильные окислители, раздражают дыхательные пути, в больших концентрациях вызывают отёк лёгких. Окисляют гемоглобин в метгемоглобин (HbOH), содержащий трёхвалентное железо и не способный переносить кислород.

- Озон, O_3 - газ с характерным запахом, очень сильный окислитель. В нижних слоях атмосферы образуется в результате фотохимических реакций диоксида азота и летучих органических соединений. Несмотря на то, что в приземном слое атмосферы озон - высокотоксичная примесь, нормируемая соответствующими ПДК, в верхних слоях атмосферы это необходимый для задержки коротковолнового (<280 нм) ультрафиолета компонент. Озоновые дыры - локальное пространство со значительно сниженным (до 50%) содержанием озона. Разрушению озонового слоя способствуют: запуск тяжёлых ракетносителей, хлор, оксиды азота, аэрозольные облака фреонов.

- Углеводороды - соединения, содержащиеся в несгоревшем бензине, ароматических растворителях, чистящих веществах. В зависимости от концентрации и продолжительности воздействия могут оказывать раздражающее, гепатотоксическое, канцерогенное действие и вызывать тяжёлые поражения ЦНС.

- Свинец, Pb - токсичен в любой форме. Основной источник загрязнения атмосферы - выхлопные газы. Примерно 75% добавляемого в топливо тетраэтилсвинца для улучшения его антидетонационных характеристик попадает в атмосферу. Биологическое действие связано со способностью свинца блокировать сульфгидрильные группы ферментов.

Шум, вибрация, электромагнитные излучения

Хотя по формальным признакам данные факторы антропогенного воздействия можно отнести к параметрическим загрязнителям атмосферы, традиционно их рассматривают отдельно, как факторы производственной вредности.

ГИДРОСФЕРА

Гидросфера - водная оболочка Земли, совокупность океанов, морей, рек, прудов, озёр, болот, подземных вод, ледников и водяного пара атмосферы. Моря и океаны играют ведущую роль в сохранении среды обитания и поддержки климата на земле. Обитающий в океане планктон продуцирует половину кислорода атмосферы и является кормовой базой рыб и

моллюсков. Естественные водоёмы способны к быстрому самоочищению за счёт разбавления, растворения, пере мешивания, оседания нерастворимых частиц, а также фильтрации планктоном.

Классификация загрязнения гидросферы

- По источнику загрязнения.
 - Морские - военные корабли, суда, особенно танкеры, трубопроводы и т.п.
 - Наземные - реки, озёра, куда загрязняющие вещества попадают с береговых объектов и с грунтовыми водами.
 - Атмосферные - промышленность и транспорт - всё, что даёт выбросы в атмосферу.
- По технологическим особенностям сточных вод.
 - Реакционные воды, загрязненные исходными веществами и продуктами реакций.
 - Воды после промывки сырья, продуктов, тары.
 - Водные экстрагенты и сорбенты.
 - Бытовые воды.
- По химическому составу: нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, тяжёлые металлы, токсические вещества и т.д.
 - Загрязнение нефтью - наиболее распространённое загрязнение мирового океана. В результате образования стойких плёнок и капель уменьшаются теплопроводность и теплоёмкость верхнего водного слоя, испарение, а также обмен кислородом - углекислый газ.
 - Тяжёлые металлы - группа, включающая более 30 элементов с плотностью более $4,5 \text{ г/см}^3$. Наиболее опасны ртуть, свинец и кадмий. Практически для каждого соединения тяжёлых металлов существует вид планктона, избирательно накапливающий его в своих клетках. Далее по пищевым цепям тяжёлый металл попадает в ткани других гидробионтов и, в частности, в рыбу.

Обеспечение качества водных объектов

Основное нормативное требование к качеству воды - соблюдение установленных предельно допустимых концентраций.

ПДК в воде - нормативные показатели, при которых исключается неблагоприятное влияние каких-либо веществ на организм человека и которые ограничивают хозяйственно-питьевое, культурно-бытовое и другие виды водопользования.

Лимитирующие показатели вредности для разных веществ могут быть различными:

- органолептический - изменяет запах, цвет или вкус воды, вызывает опалесценцию, образование пены или плёнки на поверхности;
- общесанитарный - влияет на скорость протекания процессов самоочищения;
- токсикологический - влияет на организм человека и животных (обитающих в воде).

Предельно допустимый сброс - масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению в единицу времени. При расчёте допустимого сброса сточных вод ориентируются на наибольшие среднечасовые расходы воды и на гидрохимические и биохимические особенности водоёма.

ПОЧВА

Почва - органно-минеральное природное тело, возникшее в результате длительного взаимодействия биотических и абиотических факторов суши. Почва содержит твёрдые, жидкие и газообразные компоненты. Свыше половины минерального состава образовано кремнезёмом (SiO_2), четверть - глинозёмом (Al_2O_3), десятая часть - оксидом железа (Fe_2O_3).

Гумус - наиболее плодородный слой почвы, содержит в большом количестве растительные и животные остатки, разложившиеся под действием микроорганизмов.

Почва способна к самоочищению, но данный процесс идёт медленно, поскольку ограничен интенсивностью жизнедеятельности почвенных бактерий, грибов и простейших. При накоплении токсических веществ происходит нарушение единства геохимической среды и живых организмов - возникает опустынивание (дезертификация). Под влиянием антропогенной нагрузки разрушение почв происходит в 100-1000 раз быстрее, чем в естественных условиях. За последнее столетие человечество утратило более четверти пахотных угодий.

Источники загрязнения почвы - те же, что и атмосферы и гидросферы, поскольку все выбрасываемые промышленностью, транспортом и энергетикой твёрдые и жидкие вещества в том или ином количестве попадают на землю.

Особенности загрязнения почвы в сельском хозяйстве

Для увеличения урожайности применяют различные классы химических веществ. Многие из таких соединений пагубно влияют на состояние почв; вызывают заболевания при работе с ними без надлежащих мер защиты и при потреблении в пищу продуктов с превышением допустимых остаточных количеств.

- Пестициды - ядохимикаты, химические соединения, используемые для защиты растений и сельскохозяйственных продуктов, для уничтожения

эктопаразитов животных и для борьбы с переносчиками опасных заболеваний.

- Гербициды - подмножество пестицидов, химические вещества, уничтожающие растения или их части (листья - дефолианты, цветы - дефлоранты), сплошного или избирательного действия.
- Регуляторы роста и развития растений - синтетические аналоги растительных гормонов: ауксины, ретарданты, гиббереллины.
- Минеральные удобрения, без которых невозможно современное сельское хозяйство, содержат большое количество балластных веществ, что изменяет химический состав почв.

Нормированию и контролю подлежат токсические вещества в пахотном слое сельскохозяйственных угодий, сельскохозяйственное сырье и пищевые продукты.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дайте классификацию загрязнения атмосферы.
2. Назовите санитарно-гигиенические показатели загрязнения атмосферы.
3. Как вещества подразделяют по классам опасности?
4. Какие виды ответных эффектов организма на действие поллютантов вы знаете?
5. Назовите характеристики отдельных химических загрязнителей атмосферы.
6. Дайте классификацию загрязнения гидросферы.
7. Назовите особенности загрязнения почвы в сельском хозяйстве.

ГЛАВА 14. КАЧЕСТВО ЖИЗНИ КАК ФАКТОР АДАПТАЦИИ

В главе рассмотрены: понятие качества жизни, биологические и социальные факторы качества жизни, изменения качества жизни в условиях влияния неблагоприятных экологических факторов природного и техногенного происхождения.

ПОНЯТИЕ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ

Качество жизни - интегральная характеристика физического, психологического и социального функционирования человека, основанная на его субъективном восприятии.

Исследование качества жизни - надёжный и простой метод оценки общего благополучия человека. Изучение качества жизни - общепринятый в международной практике высокоинформативный чувствительный и экономичный метод оценки состояния здоровья как населения в целом, так и отдельных социальных групп.

Разработка концепции качества жизни интенсивно началась в конце 1960-х годов. В 1991 г. был подготовлен и начат крупный Международный проект оценки качества жизни - International Quality of Life Assessment (IQOLA) Project, цель которого состояла в переводе, валидации опросника SF-36 и получении популяционных норм качества жизни для различных стран. В настоящее время в этом проекте участвует более 45 государств.

В число маркёров качества жизни попадают:

- здоровье;
- условия рабочего места;
- возможность хорошо провести свободное время;
- чувство социальной уверенности;
- самоубийства;
- количество телевизоров и телефонов на душу населения;
- плотность населения;
- наличие жилищ с ваннами;
- число разводов на душу населения;
- загрязнённость окружающей среды;
- снабжение и обеспечение продуктами питания;
- эстетические наслаждения;
- хорошее настроение и другие показатели (рис. 14-1).

string language="ru">string language="ru">

Рис. 14-1. Структура потребностей населения, ориентированная на выбор критериев качества жизни

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ

Качество жизни можно рассматривать как систему потребностей для оптимальной жизни человека. Качество жизни охватывает психофизиологическое и соматическое здоровье человека, его духовные и культурные ценности, уровень цивилизованности общества и его экономическое развитие. В интересах исследования проблемы здоровья населения, проживающего в неблагоприятных экологических условиях, целесообразен саноцентрический подход, при котором системообразующим фактором качества жизни является здоровье (индивидуальное, общественное, семейное, профессиональное).

Качество жизни определяют шестью основными составляющими:

- заболеваемость и связанная с ней продолжительность жизни;
- потребление (с ним связаны экология и гигиена производства);
- риск как социально-биологическое явление;
- потомство (семья);
- медико-санитарное состояние (здравоохранение);
- информационное обеспечение человека (печать, радио, телевидение, общение).

Следует различать качество жизни индивидуума, отдельных больших когорт, популяций в целом.

ВЛИЯНИЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ФАКТОРОВ НА КАЧЕСТВО ЖИЗНИ

В современном обществе возрастает потребность в перспективных технологиях и энергетическом обеспечении. Между тем многие новейшие технологии, занимая важное место в повышении уровня жизни в современном обществе, порождают повышенный риск для здоровья человека, общественное и даже политическое противодействие.

Экологический риск

Медико-психологическая и социальная интерпретация проблемы «экологический риск - здоровье - качество жизни» представляет большие сложности, поскольку существуют экономические и даже политические аспекты этой проблемы.

Качество жизни во многом зависит от потребления продуктов производства, уровень которого во многом определяется профессиональным здоровьем и трудоспособностью населения. Неизлечимые болезни, трудовые потери по состоянию здоровья увеличивают стоимость продукции, что в свою очередь

приводит к ограничению затрат на утилизацию отходов производства. Такое ограничение влияет на здоровье населения - круг замыкается.

Восприятие экологического риска

Проблема триединого взаимодействия аспектов «качества жизни - здоровья - экологического риска» ещё более сложна и на сегодняшний день не может быть решена однозначно для всех регионов или отдельных стран на все времена. Проблема очень динамична, и её различные аспекты в разные периоды истории могут иметь многообразные акценты.

В проблеме «экологический риск - здоровье - качество жизни» важно восприятие риска, в том числе радиационного. Прежде всего, существует медико-психологический аспект этой проблемы: неадекватное восприятие риска может перерасти в радиофобию, то есть ложное, извращённое или гиперболизированное восприятие риска. Сейчас это одна из главных проблем психологической реабилитации граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции.

По данным социально-психологических исследований, на радиоактивно загрязнённых территориях установлено снижение качества жизни населения, обусловленное высокой стрессированностью и, как следствие, низкой субъективной самооценкой здоровья.

Параметры качества жизни при радиационном загрязнении

На основании проведённых экспертных исследований сформирована структура параметров качества жизни, влияющих на риск возникновения отдалённой радиационной патологии у ликвидаторов и населения радиоактивно загрязнённых территорий. Она включает:

- образ жизни (семейное положение, питание, вредные привычки, физическую активность);
- биологические особенности (общие данные, жалобы, анамнез родителей и детей, состояние здоровья, «предвестники рака»);
- окружающую среду (быт, условия проживания, уровень радиоактивного загрязнения, источник и качество воды, условия труда, профессиональные вредности);
- уровень здравоохранения (частоту посещений врача, частоту рентгенологических исследований).

Для оценки эффективности защиты и реабилитации населения, подвергшегося облучению в результате радиационных аварий или испытательных ядерных взрывов, необходимо внедрение автоматизированной информационной системы оценки качества жизни, позволяющей получить наиболее полную и объективную информацию о динамике физического и психического здоровья, а также социального благополучия.

Причины межсистемных несоответствий

Проблема «экологический риск - здоровье - качество жизни» сложна. В основе этих межсистемных несоответствий лежит несколько основных причин.

- Экологический риск, в том числе и радиационный, практически неустраним в жизни человека (общества). В связи с этим одной из важных медико-психологических задач является смягчение последствий радиационного, химического, электромагнитного и других видов риска путём улучшения качества жизни и уменьшения неадекватного восприятия населением техногенного риска.

- Улучшение жизненных стандартов (качества жизни) создаёт новый риск. В дальнейшем на человека могут оказывать влияние

факторы научно-технического прогресса, гораздо более значимые, чем радиационный (химический, электромагнитный и т.п.) риск.

- Человек должен быть готов в жизни к любому риску. Однако это удел немногих. Если лётчики, космонавты, подводники, горняки мотивированы на риск, то население в целом к нему не готово. Не случайно, по данным ВОЗ, в последние годы наблюдается увеличение психических расстройств и социальных патологий.

- Философский подход к проблеме «качество жизни - здоровье - риск» позволяет рассмотреть её ещё шире. Создавая новые технологии (т.е. двигаясь вверх по ступеням цивилизации), человек истощает природные ресурсы и ухудшает окружающую среду, создавая себе временное благополучие, улучшая качество жизни. Человек, думая об улучшении своего бытия, должен знать, что резервы природы и энергоресурсов не бесконечны.

- Проблему экологического риска обсуждают не только специалисты, но и отдельные лица и общественные группы, что влечёт за собой конфликты. Во многом это зависит от восприятия риска учёными, общественными деятелями и отдельными группами населения. Действительно, подвергаясь постоянному риску от авиа- и автокатастроф, курения и алкоголя, население при этом не требует нормативов на величину риска. Иное дело - радиационный фактор и применение новейших технологий. В данном случае общество требует соответствующих нормативов на риск.

- Отличительной особенностью управляемой модели «качество жизни - здоровье» является наличие обратной связи, что позволяет разрабатывать количественные индексы, показатели и коэффициенты для составляющих качества жизни, ранжируя их применительно к тем или иным показателям здоровья.

- Специфика категории качества жизни состоит в том, что она позволяет зафиксировать объективные характеристики реального общества в особенностях повседневной жизни социальных субъектов.

- Здоровье, в том числе и профессиональное, - синтетический индикатор качества жизни, обобщающий всё многообразие этого понятия, включая феномены творческого и физического долгожительства. В свою очередь качество жизни - сильнейший модификатор здоровья, в том числе и профессионального.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дайте определение качества жизни.
2. Какие маркёры качества вы знаете?
3. Как построена структура потребностей населения?
4. Назовите основные составляющие качества жизни.
5. Что такое «экологический риск»?
6. Как влияет восприятие экологического риска на качество жизни?
7. Назовите причины межсистемных несоответствий в континууме «экологический риск - здоровье - качество жизни».

ГЛАВА 15. ОТ БИОЭКОЛОГИИ К НООЭКОЛОГИИ

Я верю в силу разума и возможность гармонии между ним и эмоциями. Нам, людям, нужна вера в благонамеренность будущего, творимого природой и человеком, потеря такой веры означала бы

увядание человеческого рода Д.И. Блохинцев

Достижения науки и техники вызывают глубокие преобразования, потрясая экономические и социальные структуры, организацию производства, изменяя отношения между людьми.

Принципиальное положение учения Вернадского - относительная стабильность биосферы. Биосфера в основных чертах неизменна в течение всего геологического времени, по крайней мере, полутора миллиардов лет. Такое её состояние выражается во множестве отвечающих ей явлений, в том числе и биогеохимических. Это не отрицает эволюции и замены одних видов другими. Но биогеохимические проявления жизни остаются неизменными. Стабильны количество видов, распределение их по размерам, по экологическим нишам, по глобальным биогеохимическим функциям. Отсюда вытекает следующее принципиальное положение теории - геохимическая неизменность биосферы сочетается с непрерывным эволюционным изменением форм жизни. Изменяемость и предельная устойчивость - две стороны существования биосферы.

Эффект жизни имеет интегральную характеристику - биогенную миграцию химических элементов биосферы, соответственно формируются законы.

- Биогенная миграция химических элементов в биосфере стремится к максимальному своему проявлению.
- Эволюция видов, приводящая к созданию форм жизни, устойчивых в биосфере, должна идти в направлении, увеличивающем проявление биогенной миграции атомов в биосфере.

В научной литературе активно обсуждается идея коэволюции человека и биосферы. Первоначально термин «коэволюция» упот-

ребляли для обозначения взаимного приспособления биологических видов. Затем он стал обозначать более широкий круг явлений - соразвитие взаимодействующих элементов единой системы, естественно развивающейся и сохраняющей при этом свою целостность. Наиболее интересные типы коэволюции предполагают своего рода сближение двух взаимосвязанных эволюционирующих систем, но не движение к одному, общему образу (конвергенция), а взаимную адаптацию, когда изменение, произошедшее в одной из систем, инициирует такое изменение в другой, которое не приводит к нежелательным или, тем более, неприемлемым для первой системы последствиям.

В эволюции биосферы главенствующая роль принадлежит биоте - соответствует значимости тех функций, которые выполняет система живых организмов при формировании горных пород, почвы, атмосферы и океана, хотя при этом не отрицается и не умаляется значение абиотических факторов. Эволюция биоты реализуется через процесс видообразования, причём в силу системности её организации исчезновение какого-либо вида с арены жизни или появление нового вида практически всегда влекут волну видовых изменений в экосистемах, с которыми соотносится данный вид (в его «экологической нише»).

Эволюция человеческого общества происходит при сохранении генетических констант вида *Homo sapiens* и реализуется через взаимосвязанные процессы развития социальных структур, общественного сознания, производственных систем, науки и техники, материальной и духовной культуры. При анализе проблемы коэволюции основной интерес представляют воздействия человека на биосферу; качественный характер, тип, структура этих воздействий меняются прежде всего вследствие научно-технического прогресса, техноэволюции. Техническая эволюция реализуется через инновационный процесс, некоторыми своими чертами напоминающий видообразование в биоте.

Тем не менее, правомерно ли при огромной разнице в скоростях биоэволюции и техноэволюции (пять порядков!) говорить о коэволюции природы и человека? Может ли биосфера реагировать на технические инновации в человеческом обществе образованием новых биологических видов, приспособленных к последствиям этих инноваций? Очевидно, не может.

Развитие биосферы за период человеческой истории не раз становилось объектом научного анализа. Главный вывод: вся деятельность

человека после того, как он овладел огнём, перешёл от собирательства и охоты к земледелию и скотоводству, для биосферы - возмущение.

Реакция любой системы на возмущение зависит от его величины, от того, ниже оно допустимого порога воздействия на систему или выше. В первом случае с помощью присущих ей компенсационных механизмов система подавляет негативные последствия, а обычно и сам источник возмущения, но во втором - она начинает разрушаться, деградировать. Однако при этом до определённого момента система может сохранять способность к самовосстановлению, а затем развиваются необратимые процессы, которые уничтожают либо принципиально изменяют систему - она перерождается, переходит в иное качество.

Существенные параметры системы при её нормальном функционировании сохраняют свои значения в определённых границах. При возмущениях, не превосходящих порога устойчивости системы, её компенсационные механизмы возвращают значения этих параметров в указанные границы.

Такие границы принадлежат к характеристикам качества системы. Перерождение системы - переход к новой устойчивости, с другими границами допустимых изменений существенных параметров (а может быть, и иным составом параметров). Эти системно-кибернетические положения, а также применяемые вместе с ними принцип гомеостаза и принцип Ле Шателье весьма широко известны по многочисленным приложениям в самых разнообразных областях науки и техники.

Возникает вопрос о новой устойчивости, к которой система перейдет после запороговых возмущений. Возможно, новые границы допустимых изменений окажутся приемлемыми не для всех элементов (например, биологических видов) и подсистем (сообществ организмов) трансформирующейся системы: часть из них обречена на гибель, другая часть - на перерождение, переход в иное качество, хотя некоторые могут и пережить трансформацию. Однако применительно к биоте такой исход, в целом достаточно оптимистичный, может и не состояться именно по причине её высокой системной организации.

Согласно теории биотической регуляции В.Г. Горшкова, с момента своего возникновения биота не только адаптировалась к окружающей среде, но и оказывала на неё мощное формирующее влияние, возраставшее по мере развития биоты. Под воздействием биоты формировалась регулируемая окружающая среда, одновременно развивались соответствующие регулирующие механизмы самой биоты. В результате образовалась высокоорганизованная система - биосфера, в которой посредством надлежащей подстройки потоков биогенов (веществ, участвующих в функционировании биоты) обеспечивается беспрецедентно высокая точность регулирования всех параметров, существенных для биоты (физических и химических характеристик климата, атмосферы, почвы, поверхностных вод суши и Мирового океана), в широких пределах вариации возмущений:

- во-первых, в широких, но не бесконечных;
- во-вторых, для осуществления регулятивных функций по отношению к сформировавшейся окружающей среде биота должна обладать определённой, весьма стабильной внутренней структурой, характеризующейся распределением общей биомассы, потоками энергии и биогенов по группам организмов;
- в-третьих, для сохранения высокой способности к адаптации (как для реагирования на «освоенные» возмущения, так и на случай новых типов возмущений, для которых ещё не выработаны компенсационные механизмы) биосфера должна обладать значительным разнообразием биологических видов (биоразнообразием).

Вплоть до середины XIX века производимые человеком возмущения биосферы соответствовали их допустимым пределам. Структурные соотношения в биоте сохранялись в границах, определённых законами устойчивости биосферы, а потери биоразнообразия были незначительны. Но

человечество, невиданными темпами расширяющее своё хозяйство и увеличивающее свою численность, перешло порог допустимого воздействия на биосферу, обусловлено деформацией структурных соотношений в биоте и угрожающее сокращение биоразнообразия. Эти явления и процессы непрерывно нарастают, биосфера перешла в перманентно возмущённое состояние.

Единственный способ разрешения глобальной экологической проблемы - сокращение антропогенного воздействия на биосферу до уровня, при котором она возвратится в невозмущённое состояние и сможет устойчиво оставаться в нём, поскольку регулирующие способности биоты будут достаточны для его поддержания (этот предельный уровень называется хозяйственной ёмкостью биосферы). Выполнение данного условия и является критерием устойчивого

развития. Естественно, переход к устойчивому развитию требует радикальных перемен в человеческой цивилизации, во всех сферах жизнедеятельности людей.

Направление развития цивилизации при переходе к устойчивому развитию должно, конечно, измениться: оно будет несовместимо со слепым антропоцентризмом, с «покорением природы», с неконтролируемыми демографическими процессами, с осуществлением хозяйственной политики, не выверенной строжайшим образом в экологическом аспекте. В настоящий момент человечество ещё не знает конструктивной «технологии» перехода к устойчивому развитию. Однако обострение и углубление глобального социально-экологического кризиса, неизбежные при продолжении действующих тенденций развития, заставят найти такую «технология».

Таким образом, использование термина коэволюция применительно к человеку и биосфере, вероятно, неправомерно. Дальнейшее развитие природы и общества должно идти по пути разумных адаптивных изменений. Разрабатывая вопросы стабилизации и улучшения состояния окружающей среды, ликвидации и предотвращения региональных и глобальных экологических кризисов, сохранения генетических ресурсов и самовосстановительного потенциала биосферы, мы должны все проблемы рассматривать, повернувшись к человеку, его прошлому, настоящему и будущему. При этом важное место должно отводиться теории и методам адаптации человека в различных производственных и природно-климатических условиях.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В чём заключается принципиальное положение учения Вернадского?
2. Каким образом непрерывно изменяются формы жизни в ходе эволюции?
3. Правомерно ли говорить о коэволюции природы и человека? Если нет, то почему?

4. Назовите способ разрешения глобальной экологической проблемы.
5. Как должно идти дальнейшее развитие природы и общества?