

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ЦЕНТР РАЗВИТИЯ МЕДИЦИНСКОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ ИНСТИТУТ



МАВЛЯНОВА З.Ф., УСМАНХОДЖАЕВА А.А.,
БАРАТОВА С.С.

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СПОРТСМЕНА

Методические рекомендации для клинических ординаторов
(резидентов) по специальности «Медицинская реабилитология»

Самарканд 2020

615.83
M.121

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ЦЕНТР РАЗВИТИЯ МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ
САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИНСТИТУТ

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник Главного
управления науки и
образования МЗ Р Уз

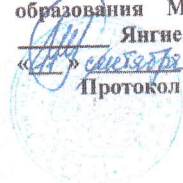
Исмаилов У.С.
«18» сентября 2020 г.
Протокол № 7



«СОГЛАСОВАНО»

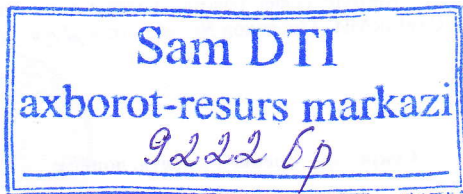
Директор Центра
развития медицинского
образования МЗ Р Уз

Янгиева Н.Р.
«18» сентября 2020 г.
Протокол № 7



“ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СПОРТСМЕНА”

Методическая рекомендация для клинических ординаторов (резидентов)
по специальности “Спортивная медицина” и
“Медицинская реабилитология”



Самарканд-2020

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
Введение.....	5
Морфологическая, метаболическая и функциональная характеристики мышечных волокон...	5
Общая характеристика энергетических систем организма.....	16
Изменения в организме при выполнении упражнений различной мощности и продолжительности.....	23
Основы развития утомления и процессы, проходящие в период отдыха.....	25
Адаптация к физической нагрузке и основные правила построения тренировочного процесса.....	30
Особенности скоростно-силовых качеств и основы выносливости.....	34
Биохимический контроль в спорте.....	41
Контроль развития систем энергообеспечения организма при мышечной деятельности.....	47
Контроль за уровнем тренированности, утомления и восстановления организма спортсмена	48
Литература.....	52

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для Узбекистана высокое качество физической культуры населения является стратегической задачей устойчивого развития страны. Успеха можно добиться только тогда, когда будут обеспечены условия для постоянного занятия физической культуры и спортом на протяжении жизни всех слоев населения.

Основными причинами повышенной заболеваемости спортсменов, по мнению специалистов, являются физические перегрузки, нарушения режима труда и отдыха, стрессовые ситуации. Длительная и напряженная умственная деятельность среди населения в сочетании с гипокинезией и гиподинамией обуславливают формирование специфического морфофункционального статуса организма, характеризующегося перестройкой деятельности сердечно-сосудистой системы, ухудшением приспособительных механизмов аппарата кровообращения к физической нагрузке, значительным снижением физической работоспособности, возрастанием энергозатрат.

Мониторинг частоты сердечных сокращений (ЧСС), совместно или без контроля уровня молочной кислоты (лактата), - на сегодняшний день неотъемлемый элемент тренировки, позволяющий спортсмену и наставнику подобрать оптимальную интенсивность, что позволяет при меньших нагрузках добиваться более высоких результатов. Эффективная тренировка, ведущая к высоким достижениям, возможна только при хорошем знании и правильном применении принципов энергообеспечения физической деятельности.

Но, к сожалению, наши спортивные врачи и тренеры недостаточно осведомлены о принципах энергообеспечения физической деятельности спортсменов. Оно, в свою очередь является залогом высоких достижений в спортивной деятельности. Данная проблема сподвигнула нас на написание данной методической рекомендации.

ВВЕДЕНИЕ

Для нормального функционирования, поддержания процессов жизнеобеспечения, выполнения определенных функций организму необходима энергия. Течение любого процесса: физического, химического или информационного, возможно только при эффективной работе систем энергообеспечения. Нагрузки предъявляют к организму спортсмена чрезвычайно большие требования и вызывают характерные изменения, связанные с адаптацией к ним. Вместе с тем при несоответствии нагрузок степени подготовленности спортсмена, при нарушениях режима и прочих факторах могут возникать пред- и патологические состояния. Для их выявления необходим детальный анализ субъективных показателей комплексного обследования, проводимого на различных этапах тренировочного процесса. Совершенствование механизмов адаптации к физической нагрузке и мобилизации функциональных резервов организма возможно только при своевременном восстановлении функциональных возможностей мышечного аппарата и системы энергетического обеспечения организма.

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ, МЕТАБОЛИЧЕСКАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН

На долю мышечной ткани в организме человека приходится 40-45% веса тела человека. У женщин масса мышц обычно ниже, чем у мужчин, с чем и связаны половые различия в проявлении мышечной силы и уровня физической работоспособности. Мышцы, благодаря сократительной функции, обеспечивают процессы движения. Проявление различных двигательных качеств человека, особенно силы и скорости, зависит от морфологического строения мышц, их химического состава, особенностей протекания в них биохимических процессов, а также от регуляторного воздействия нервной системы.

Мышечное волокно является структурной единицей скелетных мышц, представляя собой большую многоядерную клетку, а точнее – бесклеточное образование – симпласт, которое образуется путём слияния в эмбриональном периоде (Рис. 1).

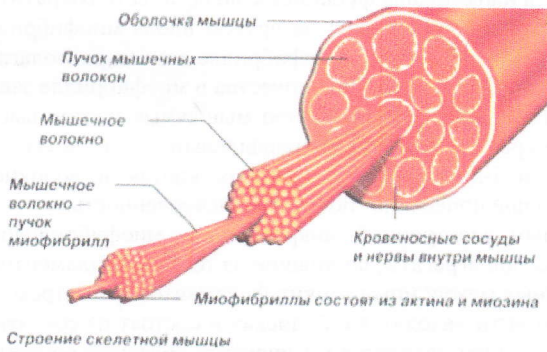


Рис. 1. Строение мышечного волокна

Мембрана мышечной клетки электровозбудима и называется сарколеммой. На сарколемме находятся места контакта с окончаниями двигательных нервов – синапсы (нервно-мышечные соединения). Подобно другим мембранам, сарколемма имеет избирательную проницаемость для различных веществ. Через нее не проходят высокомолекулярные вещества, но проходят вода, глюкоза, молочная и пировиноградная кислоты, аминокислоты, кетоновые тела и некоторые другие низкомолекулярные соединения. Сарколемма имеет также транспортные системы, с помощью которых поддерживается разность концентраций ионов Na^+ и K^+ , а также Cl^- внутри клетки и межклеточной жидкости, что приводит к возникновению на ее поверхности мембранного потенциала. Образование мембранного потенциала действия под влиянием нервного импульса – необходимое условие возбуждения мышечного волокна. На поверхности сарколеммы располагаются извилистые коллагеновые волокна, придающие ей прочность и эластичность. Внутренняя жидкость мышечной клетки называется саркоплазмой. Внутри саркоплазмы находится система продольных и поперечных трубочек мембран, пузырьков, носящая название саркоплазматического ретикулума (СР). СР регулирует концентрацию ионов Ca^{2+} внутри клетки, что непосредственно связано с сокращением и расслаблением мышечного волокна. Как во всякой активно работающей клетке, в мышечном волокне велико число митохондрий. Около 80% объема волокна занимают длинные нити - миофибриллы.

Миофибриллы – это сократительные элементы, количество которых в мышечном волокне может достигать нескольких тысяч. Под микроскопом заметно, что миофибриллы имеют поперечную исчерченность в виде чередующихся темных и светлых участков – дисков. Темные диски отличаются двойным лучепреломлением и называются А-дисками (анизотропными), а светлые диски не обладают двойным лучепреломлением и называются I-дисками (изотропными). В центральной части диска-А имеется светлый участок – Н-зона. В середине диска-I проходит Z-мембрана, которая пронизывает все волокно, как бы удерживая и упорядочивая расположение А- и I-дисков многих миофибрилл. Участок миофибриллы между двумя Z-мембранами называется *саркомером*. Эта наименьшая функциональная, то есть сократительная единица мышцы. Саркомеры следуют друг за другом вдоль миофибриллы, повторяясь через каждые 1500-2300 нм. В миофибрилле может располагаться несколько сотен саркомеров. От их длины и количества в миофибрилле зависят скорость и сила сокращения мышцы. Большинство мышечных клеток выстраивается так, что их саркомеры располагаются параллельно друг другу, соответственно совпадают А- и I-диски всех мышечных клеток в волокне, что придает покоящейся мышце поперечно-полосатую исчерченность.

По данным электронной микроскопии миофибриллярные структуры представляют собой агрегаты, состоящие из толстых филаментов около 14 нм и из расположенных между ними тонких филаментов диаметром 7-8 нм. Толстые филаменты или нити находятся в А-дисках и состоят из сократительного белка миозина. Тонкие нити находятся в I-дисках и содержат сократительный белок актин, а также регуляторные белки тропомиозин и тропонин. Филаменты (нити)

располагаются таким образом, что тонкие своими концами входят в промежутки между толстыми нитями.

Таким образом, диски-I состоят только из тонких нитей, а диски-A – из нитей двух типов. В состоянии покоя зона H содержит только толстые филаменты, так как тонкие туда не доходят. Толстые и тонкие нити миофибрилл взаимодействуют между собой в процессе сокращения посредством образования между ними поперечных мостиков.

Типы мышечных волокон и их вовлечение в мышечную деятельность

В скелетных мышцах различают два основных типа мышечных волокон: медленно сокращающиеся (МС) или красные и быстросокращающиеся (БС) или белые, отличающихся по сократительным и метаболическим характеристикам

Таблица 1.

Морфологическая, метаболическая и функциональная характеристики мышечных волокон

Характеристика	Тип волокон		
	МС	БСа	БСб
Включение в работу	малой интенсивности (на выносливость)	большой интенсивности (кратковременную)	
Количество волокон на мотонейроне	10-180	300-800	300-800
Порог возбуждения мотонейронов	низкий	высокий	высокий
Размеры и количество миофибрилл	малые	большие	большие
Сеть капилляров	большая	средняя	низкая
Наличие митохондрий	много	много	мало
Запасы белка миоглобина	большие	средние	малые
Запасы гликогена	большие	большие	большие
Активность ферментов: - АТФ-азы миозина - окислительных ферментов митохондрий - гликолиза	низкая высокая низкая	высокая высокая высокая	высокая низкая высокая
Скорость сокращения	малая (110 мс)	большая (50 мс)	большая (50 мс)
Развитие силы	низкое	высокое	умеренное
Утомляемость	слабая	сильная	сильная
Выносливость	высокая	низкая	низкая
Способность накапливать кислородный долг	практически отсутствует	высокая	высокая
Содержание отдельных			

ТИПОВ ВОЛОКОН В МЫШЦАХ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА, В %:			
- нетренированного	55	35	10
- бегуна-марафонца	80	14	5
- бегуна-спринтера	23	48	28

Из таблицы 1 видно, что разные типы мышечных волокон имеют разную скорость возбуждения, сокращения, утомления, а также отличаются механизмами энергообразования.

Среди быстросокращающихся волокон различают два подтипа: БСа (тип Па), БСб (тип Пб). Они отличаются, в основном, механизмами энергообразования. Волокна БСа имеют высокую анаэробную гликолитическую и аэробную способность ресинтеза АТФ. Поэтому их иногда называют «быстрые окислительно- гликолитические волокна». Используются они при интенсивной работе на выносливость, например, при беге на 1000 м или плавании на 400 м. Волокна БСб имеют только высокие анаэробные возможности ресинтеза АТФ и, соответственно, включаются, в основном, к кратковременной мышечной деятельности взрывного характера, например, при беге на 100 м или плавании на 50 м.

Последовательность включения мышечных волокон в работу регулируется нервной системой и зависит от интенсивности нагрузок. При физической работе небольшой интенсивности – около 20-25% уровня максимальной силы мышечных сокращений – в работу вовлекаются, в основном, МС-волокна. При более интенсивной работе – 25-40% уровня максимальной силы сокращений – включаются БСа- волокна. Если интенсивность работы превышает 40% максимальной, вовлекаются волокна БСб. Нужно иметь в виду, что даже при интенсивной работе в сокращение вовлекаются не все имеющиеся мышечные волокна: у нетренированных людей – не более 55-60% имеющихся мышечных волокон, у высокотренированных спортсменов силовых видов спорта – до 80-90% двигательных единиц.

Вовлечение мышечных волокон к работе зависит от силы стимуляции мотонейроном. Минимальная величина стимуляции, при которой волокно сокращается максимально, называется *порогом возбуждения* (раздражения). Минимальный порог возбуждения имеют МС-волокна (10-15 Гц); у БС-волокон порог возбуждения в 2 раза выше, чем у МС-волокон. Все типы мышц вовлекаются в сокращение при высокой частоте раздражения – около 45-55 ГЦ, что важно учитывать при силовой подготовке спортсменов.

Количество МС- и БС-волокон в мышцах человека в среднем составляет 55 и 45% соответственно. 30-35% БС- волокон составляют волокна типа Па, а на волокна типа Пб приходится 10-15%.

Химический состав мышечной ткани

В состав мышечной ткани входят органические и неорганические вещества, из них 75-80% составляет вода и 20-25% - сухой остаток. Белками

представлено 85% сухого остатка, остальные 15% - экстрактивными веществами (азотсодержащими и безазотистыми).

Мышечные белки. Белки мышц можно разделить на три основные группы: саркоплазматические, на долю которых приходится около 35%, миофибриллярные, составляющие около 45%, и белки стромы, количество которых лежит в пределах 20%.

БЕЛКИ МЫШЦ
СОСТАВЛЯЮТ 16-20% ОТ СЫРОЙ МАССЫ МЫШЦ

В зависимости от растворимости в воде и в солевых растворах с разной ионной силой белки мышц делятся на группы:

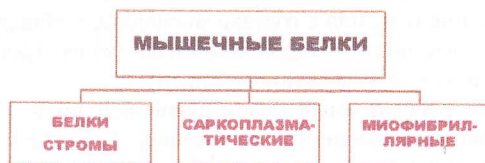


Рис. 2. Мышечные белки

Саркоплазматические белки. Основную массу белков саркоплазмы составляют белки ферменты, в частности ферменты гликолиза, ферментативный комплекс митохондрий, а также, находящиеся в саркоплазме ферменты липидного и белкового обменов. Здесь же находится и важный белок - миоглобин, близкий по своей структуре к гемоглобину, который способен связывать и депонировать молекулярный кислород в мышцах. Он, как и гемоглобин содержит железо. Поэтому, наличием миоглобина объясняется и красный цвет мышц. Содержание миоглобина составляет от 150 до 300 мг на 100 г сырого веса мышцы. К группе саркоплазматических белков относятся также белки, способные связывать ионы кальция.

Миофибриллярные белки. Эти белки обеспечивают сократительную функцию. К миофибриллярным белкам относятся, прежде всего, миозин и актин. Сюда же включены белки-регуляторы: тропмиозин, тропонин, α - и β -актинины. Миозин - один из основных сократительных белков, составляющий около 55% общего количества мышечных белков. В молекуле миозина различают длинную фибриллярную часть и глобулярные структуры (головки). Основная функция фибриллярной части молекулы миозина - образовывать пучки толстых миозиновых филаментов. В состав толстого филамента входит примерно 400 молекул миозина, связанных друг с другом таким образом, что пары головок миозиновых молекул выступают над поверхностью нити по спирали. Миозиновые нити стыкуются «хвост в хвост». Глобулярная часть молекулы миозина образует головки. Здесь расположен активный центр АТФ-азы - фермента, который обеспечивает гидролиз АТФ, что необходимо для освобождения энергии и взаимодействия с актиновыми нитями.

Актин имеет значительно меньший, чем миозин, молекулярный вес и может существовать в двух формах - глобулярной G-актин и фибриллярной F-

актин, способных переходить друг в друга. Молекулы первого имеют округлую форму, молекулы второго, представляют собой полимером, то есть объединение нескольких молекул. На долю глобулярного актина приходится около 25% общей массы белка мышц. Каждая молекула G-актина способна связывать один ион кальция, который играет важную роль в иницировании сокращения. Кроме того, молекула G-актина связывает молекулу АТФ или АДФ, что сопровождается его полимеризацией с образованием F-актина. F-актин активизирует АТФ-азу миозина, что создает движущую силу процесса сокращения. Актин легко объединяется с миозином, образуя комплекс, носящий название актомиозина и являющийся сократительной единицей мышцы, способной производить механическую работу.

Кроме миозина и актина в составе миофибрилл обнаружены и некоторые другие белки, в частности водорастворимый белок тропомиозин, который является структурным белком актиновой нити.

Тропонин – регуляторный белок актиновой нити. Он состоит из трех субъединиц. Одна из субъединиц тропонина – ТnТ обеспечивает связывание белков с тропомиозином, субъединица ТnI блокирует взаимодействие актина с миозином, тропонин С (третья субъединица ТnС) является Ca^{2+} -связывающим белком.

Белки мышечной стромы. Это основные структурообразующие белки – коллаген и эластин. Они придают мышечной ткани упругость и эластичность, что имеет существенное значение для процесса сокращения и расслабления мышц (Рис.2).

Небелковые компоненты мышц. Скелетные мышцы содержат большое количество веществ небелковой природы. Выделяют азотсодержащие, безазотистые экстрактивные вещества и минеральные вещества.

К азотсодержащим веществам относятся АТФ, АДФ, креатинфосфат, креатин, креатинин, карнитин, свободные аминокислоты и др. АТФ – главный источник энергии мышечного сокращения и других процессов, проходящих в клетке. Концентрация АТФ в мышечной ткани равна 0,25-0,40%. Креатинфосфат – первый резерв синтеза АТФ. Его содержание в мышцах колеблется в пределах 0,4-1,0%.

В состав клеточных различных мембран мышечной клетки входят азотсодержащие фосфолипиды, среди них: фосфатидилхолин (лецитин) фосфатидилэтанолламин (кефалин) и др. Помимо прочего они также являются поставщиками холина и жирных кислот.

Другие азотсодержащие вещества – мочева кислота, мочевины, пуриновые основания (аденин, гуанин) – являются промежуточными или конечными продуктами азотистого обмена и встречаются в мышцах в небольших количествах.

К безазотистым соединениям относится гликоген, который находится в саркоплазме в свободном или связанном с белками состоянии и используется как энергетический субстрат. Количество гликогена в мышцах варьирует, в зависимости от степени тренированности и рациона питания от 0,3 до 3,0% общей массы мышц.

Из липидов в мышечной ткани обнаруживаются триглицериды в виде капелек жира, а также холестерин.

Минеральные вещества составляют 1-1,5% общей массы мышцы. Основными катионами являются Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Они участвуют в процессах возбуждения и сокращения мышц. Среди наиболее встречающихся анионов – Cl^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Кроме того, мышечная ткань содержит ряд микроэлементов, которые выполняют либо каталитическую функцию, либо входят в состав каких-либо структур.

Фосфорные соединения мышц. Около 80% фосфорных соединений, содержащихся в мышцах, растворимы в воде. Основную массу их составляют АТФ – *главный источник энергии мышечных сокращений* – и креатин-фосфат, используемый для ресинтеза АТФ. Содержание АТФ в мышцах составляет (при расчете на фосфор) около 40 мг, а содержание креатинфосфата – от 28 до 45 мг на 100 г мышцы. Кроме того, в мышце содержится АДФ и АМФ (их концентрация примерно в 5 раз ниже, чем АТФ), а также аналоги АТФ – ГТФ, ГДФ, ГМФ, УТФ, УДФ, УМФ, ЦТФ и ЦДФ, концентрация которых по сравнению с АТФ ниже на два порядка. К фосфорным соединениям мышцы, растворимым в воде, относятся также гексозофосфорные эфиры и некоторые другие фосфорилированные промежуточные продукты обмена веществ, а также различные коферменты – НАД, ФАД, кокарбоксилаза и др. К числу фосфорных соединений мышц относятся ДНК и различные формы РНК. Нерастворимыми в воде фосфорными соединениями являются фосфолипиды.

Липиды мышц. В мышечных волокнах содержится до 1% протоплазматического жира, связанного с белковыми структурами саркоплазмы. При работе мышц и при голодании он не тратится.

В мышцах содержатся фосфолипиды и холестерин, входящие в структуру цитоплазматической мембраны, а также митохондриальных и других мембран клетки. Мышцы, способные к длительной работе запасают триглицериды в виде капелек жира, которые используются в качестве энергетического субстрата (топлива).

Минеральные вещества. Минеральные вещества (зольный остаток после сжигания мышц) составляют 1-1,5% от веса мышцы. К ним относятся главным образом анионы: фосфаты, хлориды и катионы натрия, калия, кальция, магния и др.

Химический состав мышцы сердца. По содержанию воды и белков сердечная мышца мало отличается от скелетных мышц. Однако в ней меньше АТФ, креатин-фосфата, креатина и гликогена, но больше глутамина, глутаминовой кислоты и фосфатидов.

Таблица 2

Химический состав скелетных мышц млекопитающих (усредненные значения)

Компонент	% на сырую массу	Компонент	% на сырую массу
Вода	72-80	АТФ	0,25-0,40

Сухой остаток:	20-28	бокарнозин	0,20-0,30
белки	16,50-20,90	карнитин	0,02-0,05
гликоген	0,30-3,00	ансерин	0,09-0,15
фосфолипиды	0,40-1,00	сводные аминокислоты	0,10-0,70
холестерин	0,06-0,20	молочная кислота	
креатинфосфат	0,20-0,55	минеральные элементы	0,01-0,02
креатин	0,003-0,005		1,00-1,50

Выделяют 3 фазы мышечной деятельности: покой, сокращение и расслабление. Две последних являются активными процессами, так как требуют затраты АТФ.

Механизм мышечного сокращения

Необходимыми условиями сокращения мышц являются:

- нервный импульс;
- выделение нейромедиатора возбуждения – ацетилхолина;
- наличие АТФ;

Для поддержания сократительной функции мышцы содержание АТФ в ней должно находиться на постоянном уровне $2 - 5 \text{ моль} \cdot \text{кг}^{-1}$. АТФ в процессе сокращения и расслабления мышц выполняет следующую роль:

- в покоящейся мышце препятствует соединению актиновых нитей с миозиновыми;
- способствует приобретению эластических свойств белку-миозину;
- в процессе сокращения поставляет необходимую энергию;
- в процессе расслабления обеспечивает энергией активный транспорт ионов кальция в ретикулум;

Теперь проследим последовательность событий, происходящих при сокращении мышц. Процесс сокращения запускается нервным импульсом, который достигает концевой пластинки двигательного нерва. При этом пресинаптическая мембрана – место контакта нервного окончания с сарколеммой – выделяет нейромедиатор возбуждения – ацетилхолин. Ацетилхолин вызывает возбуждение сарколеммы, сопровождающейся деполяризацией мембраны и образованием на ее поверхности потенциала действия, который распространяется в глубь волокна, достигает мембран саркоплазматического ретикулума и способствует высвобождению и выходу ионов Ca^{2+} в саркоплазму. Повышение концентрации свободных ионов Ca^{2+} в области миофибрилл активирует АТФ-азные центры в головках миозина.

Происходит расщепление АТФ, что делает миозин эластичным и способным взаимодействовать с актином. Образованию актомиозинового комплекса препятствует блокировка актиновых центров тропонином. Снятию блока также способствуют ионы Ca^{2+} , которые для этого должны связаться с тропонином. Между головками миозина и актиновыми центрами актина образуются поперечные спайки – «мостики». Такое взаимодействие

Расслабление мышц наступает в результате прекращения выделения ионов Ca^{2+} и обратного всасывания в саркоплазматический ретикулум уже выделившихся ионов. Концентрация ионов Ca^{2+} в саркоплазме при этом снижается до 10^{-7} моль·л⁻¹. Движение Ca^{2+} представляет собой активный процесс с участием АТФ - зависимого кальциевого насоса. На перекачивание двух ионов Ca^{2+} затрачивается одна молекула АТФ. Снижение концентрации свободного Ca^{2+} в саркоплазме приводит к потере активности АТФ- азы миозина – его головки уже не расщепляют АТФ; также миозин теряет свои эластические свойства (Рис 4.). Тропонин в отсутствие Ca^{2+} блокирует активные центры тонких нитей, в результате чего актомиозиновые комплексы разрушаются. Под действием упругих сил белков стромы мышца возвращается в исходное состояние. Она снова становится тоньше и длиннее, т.е. расслабляется.

Чем в большей степени снижается содержание АТФ в мышце, тем слабее становится ее сократительная реакция на двигательный импульс. Если же в период пребывания мышцы в сокращенном состоянии вся содержащаяся в ней АТФ будет израсходована, то миозин потеряет свои эластические свойства, но в расслабленное состояние не перейдет, так как для этого требуется АТФ. Мышца придет в состояние ооченения (контрактуры) и потеряет способность сокращаться и расслабляться.



Рис.4. Механизм мышечного сокращения

Поэтому для того, чтобы мышца могла в течение длительного времени выполнять работу, в промежутках между сокращениями должен происходить непрерывный синтез АТФ.

КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ ПО ПРОЙДЕННОЙ ТЕМЕ

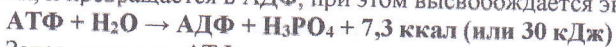
- Основным структурным элементом мышечной ткани является:
а) симпласт
б) митохондрии
в) миофибриллы
г) Т-система
- Основным функциональным элементом мышечной ткани является:
а) сарколемма
б) саркоплазма
в) саркомер
г) Т-система
- Мембрана мышечного волокна называется...
а) саркоплазма
б) сарколемма
в) лизосомы
г) рибосомы
- Вода в мышечной ткани составляет...
а) 20-30%
б) 75-80%
в) 55-60%
г) 40-50%
- Белок, закрывающий активный центр I-диска, называется:
а) миозин
б) актин
в) тропонин
г) тропомиозин
- В состав миофибрилл входят:
а) сократительные белки
б) митохондрии
в) саркоплазма
г) Z-мембрана
- К безазотистым экстрактивным веществам мышечной ткани относят...
а) белки
б) липиды
в) нуклеотиды
г) аминокислоты
- При мышечном сокращении мембрана меняет свой заряд с положительного на отрицательный, т.е. происходит процесс ее ...
а) активации
б) инициации
в) трансляции
г) деполаризации
- Нейромедиатором возбуждения мышечной клетки является:
а) АТФ
б) ацетилхолин
в) адреналин
г) тропонин
- Какой тип мышечных волокон вовлекается в сокращение при работе уровня 25-40% максимальной силы сокращения?
а) МС-волокна;
б) БСб-волокна;
в) БСа-волокна;
г) все типы волокон.

ВОПРОСЫ

- Морфологическое строение мышечного волокна.
- Химический состав мышечной ткани.
- Химический состав и соотношение мышечных волокон различных типов.
- Структурная организация и молекулярное строение миофибрилл.
- Химизм мышечного сокращения.
- Роль ацетилхолина в инициации мышечного сокращения.
- Значение саркоплазматического ретикулаума и Т-системы в механизме сокращения и расслабления.
- Роль АТФ в двухфазной мышечной деятельности.
- Последовательность химических реакций в мышце при ее сокращении и расслаблении.

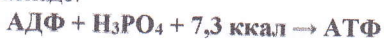
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА

Для любого физиологического процесса в организме, требуется энергия. При мышечной деятельности происходит процесс преобразования химической энергии в механическую работу. Универсальным источником энергии в живом организме является молекула АТФ. Под действием фермента Ca^{2+} -АТФ-азы АТФ гидролизуется, отсоединяя фосфатную группу в виде ортофосфорной кислоты, и превращается в АДФ, при этом высвобождается энергия.



Запас молекул АТФ в мышце ограничен (около 5 ммоль/кг- 1 сырой массы ткани), что может обеспечить выполнение интенсивной работы в течение очень короткого времени (0,5-1,5 секунды или 3-4 одиночных сокращения максимальной силы). Поэтому расход энергии при работе мышцы требует постоянного его восполнения.

Дальнейшая мышечная работа происходит благодаря быстрому ресинтезу АТФ из продуктов её распада и такого количества энергии, которое выделилось при распаде:



Реакция присоединения фосфата называется фосфорилированием, а реакция переноса его с одного вещества на другое – перефосфорилированием.

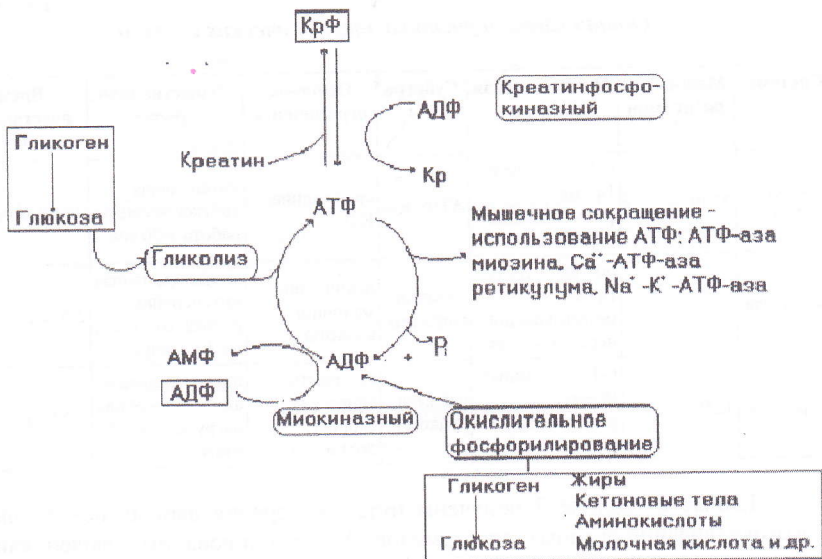
В покое, при сокращении и расслаблении мышц АТФ выполняет следующие функции:

- в покоящейся мышце – препятствует соединению актиновых нитей с миозиновыми;
- в процессе сокращения мышцы – поставляет необходимую энергию для движения тонких нитей относительно толстых, что приводит к укорочению мышцы и развитию напряжения;
- способствует приобретению эластических свойств белку миозину;
- в процессе расслабления – обеспечивает энергией активный транспорт Ca^{+2} в ретикулум против градиента концентрации.

Ресинтез АТФ может осуществляться в реакциях, протекающих без участия кислорода (анаэробные механизмы) – креатинкиназная и миокиназная реакции, гликолитическое фосфорилирование и с участием кислорода - окислительное фосфорилирование (дыхание - аэробный механизм). Таким образом, в скелетных мышцах человека проходит 3 вида анаэробных и один аэробный путь ресинтеза АТФ.

Мышца имеет 3 основных источника воспроизводства энергии:

1. Богатые энергией фосфатосодержащие вещества, которые присутствуют в тканях (АДФ, креатинфосфат);
2. Богатые энергией фосфатосодержащие вещества, которые образуются в процессе катаболизма гликогена, жирных кислот и других энергетических субстратов (дифосфоглицериновая кислота, фосфопирииноградная кислота и др.);
3. Энергия протонного градиента на мембране митохондрий, образующаяся в результате окисления различных веществ.



В рамках представлены энергетические субстраты и выделены названия механизмов ресинтеза АТФ

Рис.5. Механизмы ресинтеза АТФ в мышцах.

В зависимости от того, с помощью какого биохимического процесса поставляется энергия для получения молекул АТФ, выделяют 4 механизма ресинтеза АТФ в тканях или энергетические системы организма.

Для того, чтобы понять основные отличия энергетических систем, пользуются следующими характеристиками:

Ёмкость энергетической системы – это количество АТФ, способное образоваться за счёт данной системы.

Мощность энергетической системы – это количество АТФ, производимое системой за единицу времени.

Скорость развёртывания – время достижения максимальной мощности системы от начала работы.

Метаболическая эффективность – та часть энергии, которая накапливается в макроэргических связях АТФ. Она определяет экономичность выполняемой работы и оценивается коэффициентом полезного действия.

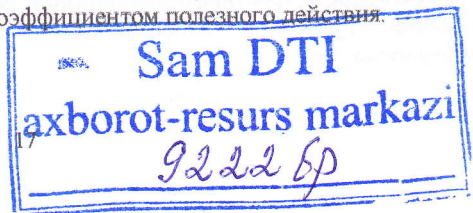


Таблица 3

Общая характеристика энергетических систем

Система	Мощность, дж*кг ⁻¹ *мин ⁻¹	Максимальная мощность	Субстраты	Основное ограничение	Существенная роль	Время восстановления
Фосфогенная	3770	6-12 секунд. Время развёртывания: 0,5-0,7 сек	АТФ, КФ	содержание КФ	интенсивная кратковременная работа 2-30 сек	40-60 мин
Лактатная	2500	60-180 секунд. Время развёртывания: через 20-40 сек	глюкоза, гликоген	накопление молочной кислоты	кратковременная интенсивная работа от 3 сек до 3-х минут	2-5 час
Аэробная	1250	6-10 минут. Время развёртывания: через 2-3 мин	глюкоза, гликоген	количество гликогена, скорость доставки O ₂	низкоинтенсивная аэробная нагрузка до 20 минут	5-24 час

Данные в таблице 3 получены путём измерения данных показателей у высококвалифицированных спортсменов. У нетренированных людей данные значения ниже.

Теперь остановимся поподробнее на отдельных энергетических системах.

Креатинфосфатная (фосфогенная, алактатная) система:

АТФ в этой системе образуется в результате реакции Ломана, которая происходит в присутствии фермента креатинфосфаткиназы.

АДФ + КреатинФосфат → АТФ + креатин

Запасы креатинфосфата в волокне в 3-4 раза выше, чем АТФ. Но этого количества хватает для использования его в качестве источника энергии только на начальном этапе работы мышцы в первую минуту, до момента активизации других более мощных источников (Рис 5.). По окончании работы мышцы реакция Ломана идет в обратном направлении, и запасы креатинфосфата в течение нескольких минут восстанавливаются.

Эта система определяет алактатную работоспособность мышц.

Максимальная алактатная мощность зависит от:

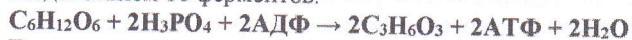
1. концентрации и активности фермента креатинфосфаткиназа (переносящего фосфатную групп с креатинфосфата на АДФ).
2. концентрации креатинфосфата.

Длительность удержания максимальной алактатной мощности составляет 6-12 секунд.

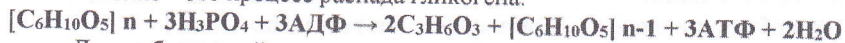
Алактатная емкость зависит от запасов креатинфосфата в мышце. Эффективность креатинфосфаткиназной реакции очень велика (76%), так как реакция протекает непосредственно между двумя веществами на миофибриллах.

Лактатная (гликолитическая, лактацидная) система:

Гликолиз – это процесс распада одной молекулы глюкозы на две молекулы молочной кислоты с выделением энергии, достаточной для фосфорилирования двух молекул АТФ, протекает в саркоплазме под воздействием 10 ферментов.



Гликогенолиз – это процесс распада гликогена.



Для работы этой системы используются в основном внутримышечные запасы гликогена, а также глюкоза, поступающая из крови.

Гликолиз протекает без потребления кислорода и способен быстро восстанавливать запасы АТФ в мышце. Достигает максимума через 30-40 секунд интенсивной работы.

Эта система определяет лактатную работоспособность мышц. Максимальная лактатная мощность определяется главным образом концентрацией и активностью ключевых ферментов гликолиза, которые зависят от:

1. устойчивости ферментов гликолиза к повышению кислотности среды, которая ингибирует их активность.
2. устойчивости кислотно-щелочного равновесия внутренней среды мышц, в условиях усиленной выработки молочной кислоты.

Время удержания максимальной мощности данного метаболического процесса составляет 60-180 секунд.

Гликолитическая емкость определяется главным образом запасами гликогена в мышцах, гликоген печени для процессов гликолиза не обладает достаточной мобильностью.

Метаболическая эффективность гликолиза оценивается значениями КПД порядка 0,35-0,52. Это означает, что почти половина всей выделяемой энергии превращается в тепло и не может быть использована в работе.

Умеренный сдвиг рН в кислую сторону активизирует работу ферментов дыхательного цикла в митохондриях и усиливает аэробное энергообразование.

Значительное накопление молочной кислоты, появление избыточного CO_2 , изменение рН и гипервентиляция лёгких, отражающие усиление гликолиза в мышцах, обнаруживаются при увеличении интенсивности нагрузки более 50% максимальной аэробной мощности. Этот уровень нагрузки обозначается, как порог анаэробного обмена (ПАНО). Чем раньше он будет достигнут, тем быстрее вступит в действие гликолиз, сопровождающийся накоплением молочной кислоты и последующим развитием утомления работающих мышц.

Величина ПАНО является важным показателем эффективности энергообразования в мышцах, роста степени тренированности, который широко используется при биохимическом контроле функционального состояния спортсмена. С ростом степени тренированности на выносливость ПАНО увеличивается, т.е. наступает при более интенсивной работе.

Миокиназная реакция

«Аварийный» путь ресинтеза АТФ:

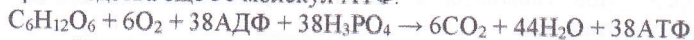


Происходит в мышцах при значительном увеличении концентрации АДФ в саркоплазме. Такая ситуация возникает при выраженном мышечном утомлении, когда другие пути ресинтеза АТФ уже не справляются. Эта реакция так же обратима и используется для поддержания постоянного уровня АТФ в мышцах.

Аэробная (кислородная, окислительная) система.

В обычных условиях аэробный механизм ресинтеза АТФ обеспечивает около 90% общего количества АТФ, ресинтезируемой в организме.

Окисление протекает в митохондриях под воздействием специальных ферментов и требует затрат кислорода, а соответственно и времени на его доставку. Такие процессы называются аэробными. Окисление происходит в несколько этапов, сначала идет гликолиз (см. выше), но образовавшиеся в ходе промежуточного этапа этой реакции две молекулы пирувата не преобразуются в молекулы молочной кислоты, а проникают в митохондрии, где окисляются в цикле лимонной кислоты до углекислого газа и воды, давая энергию для производства еще 36 молекул АТФ.



Итого распад глюкозы по аэробному пути дает энергию для восстановления 38 молекул АТФ. Т.е. окисление в 19 раз эффективнее гликолиза. Если во время гликолиза организм усваивает в виде АТФ лишь 3% энергии, заложенной в молекуле глюкозы, то при аэробном окислении этот показатель равен 55% (включая те самые 3%). К тому же аэробное окисление может использовать более энергоемкие субстраты, такие как жиры, которые дают в 2 раза больше энергии, чем то же количество углеводов.

Субстратами окисления являются любые органические вещества: белки, жиры, углеводы. Долевое участие будет зависеть от характера работы:

Интенсивность нагрузки	Преимущественно используются
до 50% МПК (лёгкая работа)	жиры
60-90% МПК (тяжёлая работа)	углеводы
близкая к МПК	практически только углеводы

Эта система определяет аэробную работоспособность мышц. Максимальная аэробная мощность зависит главным образом от:

1. плотности митохондрий в мышечных волокнах;
2. концентрации и активности окислительных ферментов;
3. скорости поступления кислорода вглубь волокна.

Объем кислорода доступного для окислительных реакций лимитируется:

1. состоянием кардио-респираторной системы;
2. капилляризация мышц;

3. концентрация миоглобина;

4. диаметр мышечного волокна (чем меньше диаметр волокна, тем лучше оно снабжается кислородом и тем выше его относительная аэробная мощность).

Показатель количества кислорода, усваиваемого единицей массы тела за единицу времени – МПК (максимальное потребление кислорода).

Скорость производства АТФ за счет окисления достигает максимальных значений на 2-3-й минуте работы, что связано с необходимостью развертывания множества процессов, обеспечивающих доставку кислорода к митохондриям. Время удержания максимальной аэробной мощности составляет примерно 6 минут, в дальнейшем аэробная мощность снижается по причине усталости всех активно работающих систем организма. Аэробная ёмкость очень высокая, т.к. для окисления используются любые органические вещества.

Метаболическая эффективность этого механизма – около 50%. Она определяется по ПАНО: у нетренированных людей ПАНО наступает при потреблении кислорода примерно 50% от МПК, а у высокотренированных на выносливость – при 80-90% от МПК (Рис 6.).

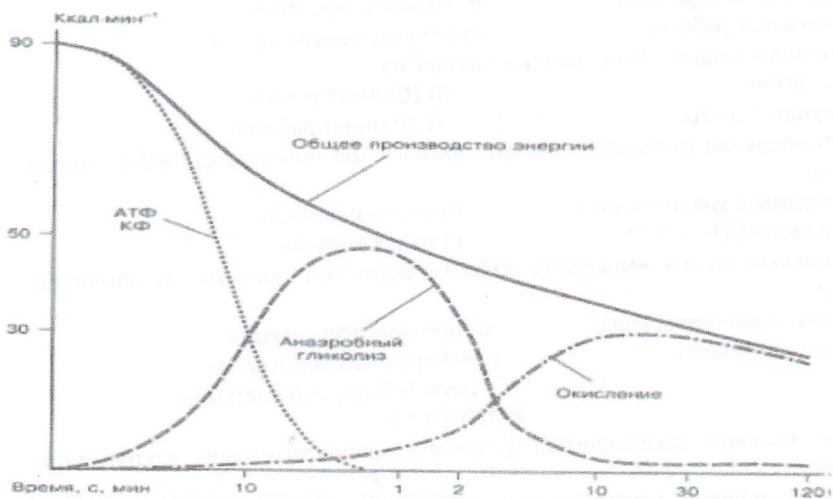


Рис. 6. Последовательность включения различных путей синтеза АТФ при физической нагрузке и их продолжительность.

КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ ПО ПРОЙДЕННОЙ ТЕМЕ

1. Ресинтез АТФ – это процесс его ...

а) расщепления

б) восстановления

в) накопления

г) транспорта

2. Одним из анаэробных путей ресинтеза АТФ является ...

а) биологическое окисление

б) переаминирование

в) креатинфосфокиназная реакция

г) дезаминирование

ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ УПРАЖНЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

Степень обменных процессов в организме при мышечной деятельности зависит от мощности и продолжительности нагрузки, а также от уровня тренированности спортсмена. В первую очередь такие изменения касаются механизмов аэробного и анаэробного энергообеспечения, что, в свою очередь, приводит к изменению скорости и направленности других обменных процессов.

Один из важнейших факторов, влияющих на энергообеспечение мышц - скорость доставки кислорода к клеткам. При переходе от состояния покоя к интенсивной мышечной деятельности потребность в кислороде возрастает во много раз, но еще какое-то время мышца его получает в таком же количестве, что и в состоянии покоя, поэтому создается дефицит кислорода. В этот период для обеспечения клетки энергией дополнительно подключаются анаэробные механизмы синтеза АТФ. Чтобы кровь, обогащенная кислородом вовремя и в нужном количестве доносила его до мышц, нужно активизировать деятельность дыхательной и сердечно-сосудистой систем, на что необходимо время. По мере усиления активности этих систем постепенно увеличивается и потребление кислорода работающими мышцами. За исключением кратковременных циклических упражнений максимальной и субмаксимальной мощности во всех других зонах работы после окончания периода вработывания наступает период устойчивого состояния. По кислородному обеспечению организма во время физической нагрузки выделяют два вида устойчивого состояния: истинное и ложное. При равномерной работе, умеренной мощности, если ЧСС не превышает 150 - 160 мин⁻¹, скорость потребления O₂ возрастает до тех пор, пока не наступит устойчивое состояние метаболических процессов, при котором потребление O₂ достигает постоянного уровня в единицу времени и соответствует потребности в нём организма. Такое устойчивое состояние называется *истинным*. При выполнении более интенсивной работы (160-180 мин⁻¹) большой мощности устойчивое состояние не устанавливается и потребление O₂ может возрастать до конца работы или до достижения максимального потребления кислорода (МПК). В последнем случае может наблюдаться *ложное устойчивое состояние*. При работе такой мощности спортсмен достигает уровня МПК, но он не удовлетворяет высокий кислородный запрос, так как исчерпаны возможности сердечно-сосудистой системы доставлять его к тканям.

При работе в истинном устойчивом состоянии часть анаэробных метаболитов (ПВК и лактат) может окисляться в процессе работы, а другая часть их используется после работы. Тогда как при ложном устойчивом состоянии количество недоокисленных продуктов только возрастает и устраняются они только в период восстановления. Для восстановления энергетических ресурсов и окисления недоокисленных продуктов (лактата, кетоновых тел) требуется дополнительное количество кислорода, поэтому некоторое время после окончания работы потребление его остаётся повышенным по сравнению с уровнем покоя. Этот излишек кислородного

потребления в период восстановления называется «кислородный долг» (O_2 -долг). Кислородный долг всегда больше кислородного дефицита, и чем выше интенсивность и продолжительность работы, тем значительнее это различие. Быстрый компонент O_2 -долга (алактатный) включает то количество кислорода, которое необходимо для ресинтеза АТФ и КрФ. Медленный компонент O_2 -долга – это то количество кислорода, которое необходимо для окисления образовавшегося в процессе работы лактата. Медленный компонент O_2 -долга восполняется наполовину за 15-25 мин., а полностью за 1,5-2 ч.

Количество кислорода, необходимое организму для полного удовлетворения энергетических потребностей за счет аэробных процессов, называется *кислородным запросом* работы. При интенсивной работе реальное потребление кислорода – *кислородный приход* – оставляет только небольшую часть кислородного запроса. Разность между кислородным запросом работы и реально потребляемым кислородом составляет *кислородный дефицит* организма.

Во время работы соотношение аэробных и анаэробных процессов ресинтеза АТФ зависит от мощности и продолжительности выполняемой нагрузки, а также от тренированности спортсмена. С началом работы увеличивается потребление энергии, что приводит к уменьшению концентрации АТФ и, соответственно, увеличивается концентрация продуктов ее распада – АДФ и неорганического фосфата. Это активизирует ферменты гликолиза и биологического окисления, что способствует увеличению кислородного потребления, вплоть до МПК (может достигать $7-7,5 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$). Интенсивное дыхание продолжается до тех пор, пока существует потребность в энергии для выполнения работы. Когда эта потребность уменьшается, и большая часть АДФ превращается в АТФ, вновь устанавливается *дыхательный контроль*.

Мощность работы связана с её продолжительностью обратной пропорциональной зависимостью, т.е. тем больше мощность, тем меньше продолжительность работы, так как быстрее происходят биохимические изменения, приводящие к развитию утомления, а значит, к прекращению работы. Исходя из мощности и механизмов энергообеспечения, согласно классификации В.С. Фарфеля, все циклические упражнения делят на четыре зоны (Рис 7.):

- *максимальную*, длительностью до 20 – 30 с;
- *субмаксимальную*, длительностью от 30 с до 3-5 мин;
- *большую*, длительностью от 3-5 мин до 50 мин;
- *умеренную*, длительностью от 50 мин до 4-5 час и более.



Рис.7. Циклический вид спорта

В основе специфики биохимических изменений в организме при выполнении физических упражнений лежат метаболические пути, обеспечивающие энергией работающий организм. В этой связи, современная классификация мышечной деятельности включает: мощность, при которой достигается максимальное потребление кислорода (*критическая мощность $W_{крит}$*); мощность, при которой обнаруживается усиление анаэробных реакций (*порог анаэробного обмена $W_{пано}$*); мощность, при которой достигается наивысшее развитие гликолитического процесса (*мощность истощения $W_{ист.}$*); максимально возможная для человека мощность, при которой предельных значений достигает скорость образования энергии в креатинфосфокиназной реакции (*максимальная анаэробная мощность $W_{ма}$*).

ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ УТОМЛЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ, ПРОХОДЯЩИЕ В ПЕРИОД ОТДЫХА

Утомление – это состояние организма, возникающее вследствие напряженной или длительной мышечной деятельности, и характеризующееся снижением работоспособности (Рис 7.). Это защитная реакция организма, которая предотвращает развитие в организме чрезмерных, опасных и даже не совместимых с жизнью биохимических сдвигов. Причины утомления зависят от характера нагрузки и индивидуальных особенностей организма. Основными факторами, вызывающими развитие этого состояния при кратковременной и интенсивной нагрузке являются:

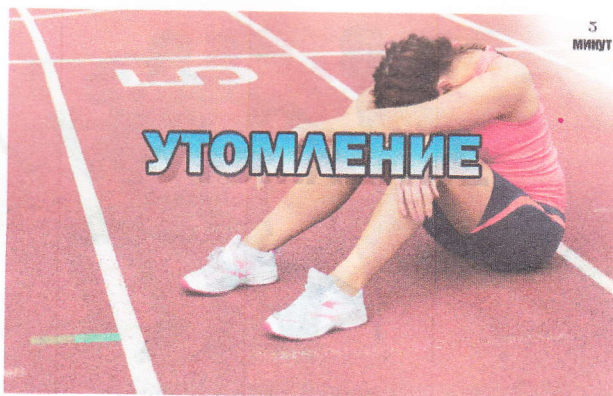


Рис.8. Утомление

- гипоксия;
- накопление токсичных метаболитов;
- нарушение параметров гомеостаза;
- снижение активности ключевых ферментов («утомление ферментов»);
- снижение скорости процессов энергообразования;
- снижение скорости синтеза АТФ;
- нарушение целостности функционирующих структур из-за недостаточности их пластического обеспечения или сдвигов параметров внутренней среды;
- снижение уровня энергетических ресурсов в работающих мышцах и в организме в целом;
- изменение нервной и гормональной регуляции и др.

Причины утомления зависят не столько от состояния мышц, сколько от состояния центральной нервной системы. Вследствие значительного и длительного возбуждения, связанного с посылкой двигательных импульсов и переработкой афферентных сигналов, поступающих от работающих мышц, расщепление АТФ в нервных клетках начинает преобладать над ее ресинтезом, и баланс богатых энергией фосфорных соединений нарушается.

Уменьшение отношения АТФ\АДФ в нервной клетке приводит к снижению ее специфической функциональной активности и развитию в ней защитного охранительного торможения. Развитие охранительного торможения связано также и с повышением содержания в нервных клетках γ -аминомасляной кислоты (ГАМК) – которая является нейромедиатором торможения. Состояние утомления характеризуется снижением скорости синтеза АТФ, а также нарушением синтеза ацетилхолина в синаптических образованиях, вследствие чего нарушается нервно-мышечная проводимость.

Таким образом, утомление является защитной реакцией организма, предохраняющей его от чрезмерного функционального истощения, опасного для жизни. Охранительное торможение, которое развивается вслед за

утомлением, способствует запуску процессов восстановления в ЦНС, мышцах и других органах.

В таблице 5. приведены основные результаты экспериментальных исследований по выявлению ведущих факторов утомления при выполнении упражнений в различных зонах относительной мощности и предельной продолжительности.

Отдых – активный процесс, который протекает с затратой энергии. Чем интенсивнее процессы в период работы, тем интенсивнее протекает восстановление при отдыхе. В периоде отдыха ликвидируются те биохимические изменения в мышцах и других органах и тканях организма, которые были вызваны мышечной деятельностью. Если во время физической нагрузки доминируют катаболические процессы, необходимые для энергообеспечения, то во время отдыха преобладают процессы анаболизма.

Процессы восстановления различных веществ и структур организма в период отдыха после мышечной нагрузки протекают с различной скоростью и завершаются в разное время. Это явление получило название *гетерохронизма*. Быстрее всего восстанавливаются резервы O_2 и КФ, затем внутримышечные запасы гликогена и гликогена печени, резервы жиров и в последнюю очередь разрушенные при работе белковые структуры.

Так, нормальное содержание гликогена прежде всего восстанавливается в головном мозге, затем в миокарде, еще позднее – в скелетных мышцах и, наконец, в печени. Синтез гликогена в мозге, миокарде и скелетных мышцах может происходить за счет внутренних ресурсов организма путем образования углеводов из веществ неуглеводной природы и из части образовавшейся во время работы молочной кислоты или путем перераспределения углеводов в организме. В последнем случае расщепление гликогена печени продолжается и во время отдыха, а поступающий в кровь сахар задерживается головным мозгом, миокардом и скелетными мышцами и используется для ресинтеза гликогена.

После окончания работы потребление кислорода продолжает оставаться повышенным по сравнению с состоянием покоя. Этот излишек кислородного потребления получил название кислородного долга. Кислородный долг всегда выше кислородного дефицита, и чем выше интенсивность и продолжительность нагрузки, тем значительнее это различие. Так как анаболические процессы нуждаются в затратах энергии в форме АТФ, то период отдыха характеризуется высокой интенсивностью аэробного синтеза АТФ, что необходимо для активно идущих пластических процессов. В мышцах после работы имеется избыток АДФ, АМФ, нефосфорилированного креатина и неорганического фосфата. В крови и тканях содержится большое количество недоокисленных веществ, являющихся субстратами аэробного окисления – главным субстратом аэробного окисления становятся сначала молочная кислота, а затем липиды и продукты их неполного окисления (кетоновые тела). Поэтому процессы ресинтеза АТФ приобретают перевес, и происходит не только восстановление, но и сверхвосстановление источников энергии.

После синтеза и компенсации энергетических запасов организма (КФ, гликогена мышц и печени, жировых запасов), значительно усиливаются процессы синтеза структурных липидов (фосфолипидов), белков, клеточных структур (мембран) и органелл. Таким образом, по окончании физической нагрузки все вещества, которые были израсходованы на продуцирование энергии и те клеточные структуры и органеллы, которые были нарушены за время работы, восполняются. В определенный момент отдыха запасы всех расходуемых в процессе работы веществ превышают дорабочий уровень. Это явление получило название *суперкомпенсация*, или *сверхвосстановление*. В период отдыха повышается концентрация гормонов анаболического действия, которые активизируют процессы синтеза белков-ферментов, контролирующих восстановление энергетических запасов и структурных компонентов клетки и организма.

Суперкомпенсация явление проходящее – после фазы значительного превышения исходного уровня содержание вновь синтезированных веществ постепенно снижается, возвращаясь к норме. Чем больше расход энергии и структурных веществ при работе, тем быстрее происходит их синтез и тем значительнее превышение исходного уровня в фазе суперкомпенсации. Но из этого правила есть исключения. При чрезмерно напряженной работе, связанной с очень большим расходом веществ и накоплением продуктов распада, скорость восстановительных процессов может снизиться, а фаза суперкомпенсации будет достигнута в более поздние сроки и выражена в меньшей степени.

Длительность фазы сверхвосстановления зависит от продолжительности выполнения работы и глубины вызываемых ею биохимических сдвигов в организме. После мощной кратковременной работы это состояние наступает очень быстро и так же быстро завершается. Например, восстановление КФ наблюдается уже на 3-4 минуте отдыха и завершается через 1,5-2 часа после завершения нагрузки; восстановление АТФ идет еще быстрее. При выполнении длительных упражнений суперкомпенсация содержания КФ наступает только через 12 минут и продолжается в течение нескольких часов. Превышение исходного уровня гликогена в мышцах животных после кратковременной интенсивной работы наступает уже после 1 часа отдыха, а через 12 часов уровень гликогена становится дорабочим, исходным (Таблица 5). После же работы большой длительности, суперкомпенсация наступает только через 12 часов, но зато повышенный, сверх исходного, уровень гликогена в мышцах сохраняется более трех суток. В последнюю очередь восстанавливаются белки. Этап белкового восстановления носит название анаболического восстановления.

Таблица 5

Ведущие факторы утомления при выполнении упражнений различной мощности и предельной продолжительности

Упражнения	Лимитирующие функции	Факторы утомления
Максимальной мощности ($\tau_{np} < 20c$)	Неадекватная скорость ресинтеза АТФ, истощение	\downarrow КрФ, \uparrow АДФ

	внутримышечных запасов КрФ	
Субмаксимальной мощности ($\tau_{пр} = 20с - 2,5мин$)	Неадекватная скорость ресинтеза АТФ, истощение внутримышечных запасов гликогена, ацидоз	↓Гликоген мышц, ↓рН, ↑NH ₃ , расстройство электрохимического сопряжения
Большой мощности ($\tau_{пр} = 2,5 - 10мин$)	Истощение внутримышечных запасов гликогена, накопление молочной кислоты, ацидоз	↓Гликоген, ЖК, ↓рН, ↓рO ₂
Умеренной мощности ($\tau_{пр} = 10мин$)	Истощение внутримышечных запасов гликогена, гипогликемия, гипертермия, дегидратация, кетоз	↓Энергетические субстраты, гипогликемия, ↑R=O, ↑t _{внут.} , ↓H ₂ O, расстройства ЦНС и кардиоваскулярных функций

КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ ПО ПРОЙДЕННОЙ ТЕМЕ

- Дегидратация в организме является причиной утомления при работе в зоне...
 - умеренной мощности;
 - мощности истощения;
 - субмаксимальной мощности;
 - максимальной аэробной мощности
- Снижение запасов креатинфосфата наблюдается при работе в зоне:...
 - умеренной мощности;
 - большой мощности;
 - мощности истощения;
 - максимальной мощности
- Максимальное накопление мочевины и кетоновых тел наблюдается при работе в зоне мощности:
 - умеренной;
 - максимальной;
 - субмаксимальной;
 - большой
- Через 4-6 часов после выполнения работы в зоне субмаксимальной мощности восстанавливаются запасы:
 - белков;
 - углеводов;
 - креатинфосфата;
 - липидов;
- Рабочая гипертрофия мышц развивается в фазе...
 - суперкомпенсации;
 - стабилизации биохимических констант;
 - расщепления субстратов;
 - утомления

6. Развитие декомпенсированного ацидоза является основной причиной утомления при работе в зоне:
 а) максимальной аэробной мощности; б) мощности истощения;
 в) максимальной анаэробной мощности; г) мощности ПАНО
7. В первую очередь в период отдыха происходит восстановление:
 а) кислорода, креатинфосфата; б) углеводов;
 в) липидов; г) белков
8. Удаление из организма избытка кетоновых тел, восстановление уровня свободных жирных кислот и усиленный синтез фосфолипидов наблюдается в период отдыха после работы на стадии.
 а) углеводного восстановления; б) алактатного восстановления;
 в) липидного восстановления; г) белкового восстановления
9. Длительность фазы суперкомпенсации во времени зависит от: ...
 а) продолжительности и интенсивности работы
 б) соотношения количества быстрых и медленных мышечных волокон;
 в) продолжительности периода отдыха;
 г) количества образовавшихся метаболитов
10. Миоглобиновые запасы кислорода восстанавливаются в течение:
 а) первых 30 минут восстановления;
 б) после 2-х часов восстановления;
 в) нескольких суток отдыха;
 г) 24-х часов восстановления

ВОПРОСЫ

1. Биохимические основы утомления. Виды и фазы.
 2. Причины утомления при работе в различных зонах мощности.
 3. Особенности протекания биохимических процессов в период отдыха.
 4. «Срочное» и «отставленное» восстановление. Этапы.
- Суперкомпенсация биохимических субстратов в клетке и ее роль для тренировочного процесса. Гетерохронизм восстановления

АДАПТАЦИЯ К ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ И ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА

С биологических позиций спортивную тренировку следует рассматривать как процесс направленной адаптации (приспособления) организма к воздействию физических нагрузок. Направленность и величина биохимических изменений, происходящих в ответ на применяемые физические нагрузки, определяют тренировочный эффект.

Под адаптацией организма понимают совокупность биохимических процессов, которые обеспечивают эффективную и экономичную его деятельность и сохранение относительного уровня гомеостаза в условиях воздействия различных факторов среды, например, физической нагрузки.

Адаптация организма к действию любого раздражителя носит фазный характер. В зависимости от характера и времени реализации приспособительных изменений в организме выделяют 2 этапа адаптации – срочной и долговременной (хронической) адаптации.

Этап срочной адаптации – это непосредственный ответ организма на однократное воздействие физической нагрузки. Он реализуется на основе ранее сформированных биохимических механизмов и сводится, преимущественно, к изменениям энергетического обмена и функций его вегетативного обслуживания.

Этап долговременной адаптации охватывает большой временной промежуток, развивается постепенно, как результат суммирования следов срочной адаптации. Он связан с возникновением в организме структурных и функциональных изменений.

Усиление сократительной активности мышц при физической нагрузке приводит к заметным сдвигам в системах энергообеспечения, что сопровождается усилением процессов синтеза АТФ и восстановлением нарушенного баланса энергии. Эти процессы составляют начальное звено срочной адаптации. Вместе с тем, нарушенный баланс АТФ (и других макроэргических соединений клетки) во время физической нагрузки активирует другой, более глубокий уровень регуляции. Промежуточное звено контролирует активность генетического аппарата и, в конечном итоге, определяет скорость синтеза нуклеиновых кислот и специфических белков, необходимых для перестройки (адаптации) к действующему фактору (мышечной нагрузке) (Рис.9). Эти процессы, в свою очередь, приводят к росту сократительных структур в мышце, повышению активности её функционирования и более совершенному энергообеспечению, что является основой на молекулярном уровне долговременной (хронической) адаптации. Таким образом, всякое изменение функции есть суть изменения обмена веществ данной ткани и, в конечном итоге, организма в целом.

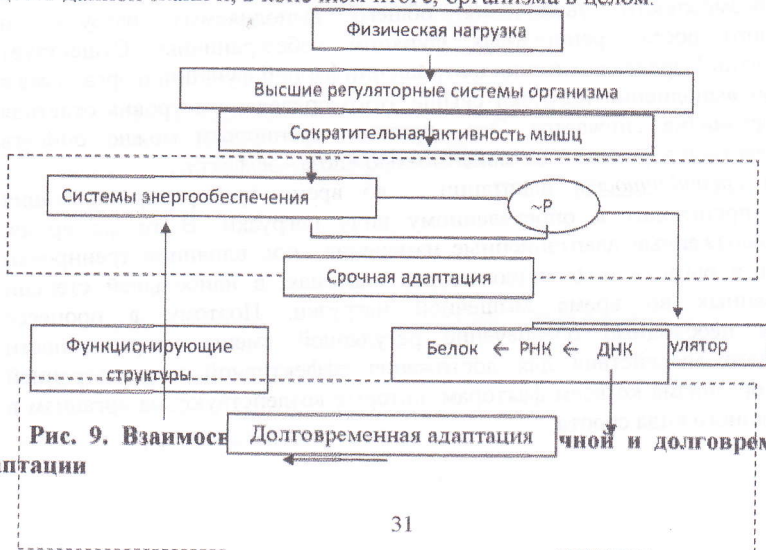


Рис. 9. Взаимосвязь срочной и долговременной адаптации

В соответствии с фазовым характером протекания процессов адаптации к физическим нагрузкам в спорте принято выделять три разновидности тренировочного эффекта: срочный, отставленный (пролонгированный) и кумулятивный (накопительный). *Срочный тренировочный эффект* определяется величиной и характером биохимических изменений в организме, происходящих непосредственно во время физической нагрузки и в период срочного восстановления (0,5 – 1 ч после нагрузки), когда происходит ликвидация кислородного долга, образовавшегося во время работы. *Отставленный тренировочный эффект* наблюдается на поздних стадиях восстановления после физической нагрузки. Его суть составляет активация процессов пластического обмена, направленная на восполнение энергетических ресурсов и ускоренное воспроизводство разрушенных при работе и вновь синтезируемых клеточных структур. *Кумулятивный тренировочный эффект* возникает как результат последовательного суммирования следов многих нагрузок или большого числа срочных и отставленных эффектов. В кумулятивном тренировочном эффекте воплощаются биохимические изменения, связанные с усилением синтеза нуклеиновых кислот и белков, наблюдаемые на протяжении длительного периода тренировки. Кумулятивный тренировочный эффект выражается в приросте показателей работоспособности и улучшении спортивных результатов.

Построение тренировочного процесса объясняется основными физиологическими принципами:

- принцип сверхотягощения (постепенности), т.е. постепенного увеличения нагрузки – физические упражнения приводят к повышению тренированности тогда, когда величина нагрузки вызывает предельную активацию энергетического и пластического обмена в клетках. Для обеспечения выраженного прироста тренируемой функции под воздействием определенного вида физической нагрузки её величина должна превышать пороговое значение. Если величина применяемой нагрузки превышает пороговое значение, это будет сопровождаться пропорциональным увеличением тренируемой функции. Однако возможности увеличения общего выполняемых нагрузок и непрерывного роста тренируемых функций не безграничны. Существует индивидуальный предел адаптации в отношении данной функции и организма в целом. При выполнении нагрузки свыше этого предельного уровня ответная реакция организма снижается. Этот принцип тренировки можно описать хорошо известной в физиологии зависимостью «доза - эффект».

- принцип специфичности адаптации – во время тренировки адаптация организма происходит к определенному виду нагрузки. В то же время, наиболее выраженные адаптационные изменения под влиянием тренировки происходят в органах и функциональных системах, в наибольшей степени задействованных во время мышечной нагрузки. Поэтому в процессе тренировки необходимо обеспечение регулярной смены направленности тренирующего воздействия для достижения эффективной и всесторонней адаптации организма ко всем факторам, которые воздействуют на организм в условиях данного вида спорта.

- принцип обратимости адаптации говорит о том, что адаптационные изменения являются преходящими. По завершении фазы суперкомпенсации показатели энергетического обмена постепенно приходят в норму. Исходя из данной закономерности следует, что для развития адаптации процесс тренировки не должен прерываться, а повторные нагрузки должны задаваться в фазе суперкомпенсации.

принцип положительного взаимодействия – заключается в том, что каждая последующая нагрузка воздействует на адаптационный эффект предшествующей нагрузки и может видоизменять его. Результатом такого суммирования тренировочных эффектов может быть *положительное взаимодействие* (если они усиливают друг друга), *нейтральное взаимодействие* (если нет заметных влияний) и *отрицательное взаимодействие* (если последующая тренировка снижает эффект предыдущей).

КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ ПО ПРОЙДЕННОЙ ТЕМЕ

1. При многократно повторяющихся физических нагрузках развиваются изменения, характерные для тренировочного эффекта:
 - а) срочного;
 - б) отставленного;
 - в) кумулятивного;
 - г) обратного.
2. Принципом спортивной тренировки, в основу которого положена фаза суперкомпенсации энергетических субстратов, называется...
 - а) обратимость адаптации;
 - б) сверхотягощение;
 - в) положительного взаимодействия;
 - г) специфичность адаптации.
3. Наивысшая спортивная форма достигается в фазе...
 - а) реадaptации;
 - б) специфичности адаптации;
 - в) дезадаптации;
 - г) общей адаптации.
4. «Срочный» тренировочный эффект – это биохимические изменения, которые проявляются в организме спортсмена в течение: ...
 - а) 2 часов после нагрузки
 - б) суток после нагрузки
 - в) нескольких суток после нагрузки
 - г) 30 мин после нагрузки.
5. Развитие состояния ацидоза наблюдается в «срочном» тренировочном эффекте после нагрузки: ...
 - а) алактатного характера
 - б) анаэробно-гликолитического характера
 - в) аэробного характера
 - г) анаэробного алактатного характера.
6. Исходя из биологической закономерности развития адаптации, когда должна начинаться повторная физическая нагрузка (тренировка)?
 - а) через 2-3 часа после предыдущей нагрузки;
 - б) через сутки;
 - в) не имеет значения;
 - г) в фазе суперкомпенсации.

7. Максимальное снижение запасов креатинфосфата в мышцах наблюдается в «срочном» тренировочном эффекте после нагрузок...

- а) аэробного характера;
- б) анаэробно- алактатного характера;
- в) алактатного характера;
- г) анаэробно-гликолитического характера.

8. Какой из физиологических закономерностей адаптации нарушается при большом перерыве в тренировочном процессе:

- а) принцип отягощения;
- б) принцип обратимости;
- в) принцип положительного взаимодействия;
- г) принцип специфичности.

9. Активность ферментов биологического окисления возрастает после многократного воздействия на организм («кумулятивный» тренировочный эффект) при воздействии нагрузок

- а) аэробного характера
- б) анаэробно - алактатного характера
- в) алактатного характера
- г) анаэробно-гликолитического характера.

10. Какой принцип закономерности адаптации предполагает необходимость величины физической нагрузки выше порогового значения?

- а) отягощения;
- б) специфичности;
- в) обратимости;
- г) положительного взаимодействия.

ВОПРОСЫ

- 1. Биохимическая характеристика срочной и долговременной адаптации.
- 2. «Срочный» тренировочный эффект при выполнении нагрузок различного характера.
- 3. Биохимическая характеристика «отставленного» тренировочного эффекта.
- 4. «Кумулятивный» тренировочный эффект и биохимические изменения в крови и мышцах спортсменов при многократном воздействии тренировочных нагрузок разной энергетической направленности.
- 5. Биологические принципы спортивной тренировки.

ОСОБЕННОСТИ СКОРОСТНО-СИЛОВЫХ КАЧЕСТВ И ОСНОВЫ ВЫНОСЛИВОСТИ.

Рассматривая спортивную тренировку с биологических позиций можно констатировать, что она является активной адаптацией, приспособлением человека к интенсивной мышечной деятельности, позволяющей ему развивать большие мышечные усилия и выполнять работу большей интенсивности и длительности. Такая адаптация касается, прежде всего, процессов регуляции и координации функций при выполнении физических упражнений и сопровождается глубокими функциональными изменениями в организме,

которые изучаются физиологией спорта. В основе же этих функциональных изменений лежат изменения биохимические, так как всякое изменение функции есть изменение обмена веществ данной ткани или данного органа и, в конечном итоге, организма в целом. Поэтому естественно, что биохимические изменения, происходящие в организме под влиянием тренировки, не ограничиваются только мышечной системой, но распространяются на все ткани и органы - кровь, костную систему, печень, сердце, центральную нервную систему и т. д.

Результатом такой адаптации организма, происходящей под влиянием систематического упражнения, является повышение его работоспособности. При выполнении физических нагрузок, равно доступных и тренированному и нетренированному человеку, величина биохимических изменений в организме и степень напряжения различных функциональных систем у первого будут существенно меньшими, чем у второго. Восстановление работоспособности и нормализация биохимических показателей крови во время отдыха после работы у тренированного человека будут происходить быстрее, чем у нетренированного.

Биохимические основы силы, быстроты и выносливости.

Пути их совершенствования

Под влиянием тренировки происходит активное приспособление организма к мышечной деятельности большей интенсивности и длительности. Однако такое приспособление организма происходит не к работе вообще, а к определенным ее видам. Биохимические изменения, вызываемые тренировкой являются адаптацией организма к данному виду мышечной деятельности, поэтому тренировка в различных физических упражнениях приводит к неодинаковым биохимическим изменениям в организме.

Обращаясь к спортивной практике, легко убедиться в том, насколько непохожа одна на другую, например, работа легкоатлета-бегуна, гимнаста, боксера, штангиста. Даже близкие по своему характеру физические упражнения, например спринтерский и марафонский бег, существенно отличаются друг от друга и по длительности, и по величине усилий, и по характеру регуляции физиологических функций. Существенно отличаются различные физические упражнения и по протеканию биохимических процессов при их выполнении. Это имеет большое значение для путей и методики развития основных качеств двигательной деятельности.

Силовые нагрузки – анаэробная работоспособность в зоне максимальной мощности. Биохимической основой силы являются, прежде всего, структурные белки мышц, в особенности, сократительный белок – миозин и величина его АТФ- азной активности, определяющая способность организма к быстрой мобилизации химической энергии АТФ и превращению ее в механическую энергию мышечного сокращения. При этом сила сокращения прямо пропорциональна количеству сократительных белков в мышце и количеству мышечных волокон, вовлеченных в сокращение. Синтез АТФ при силовых нагрузках идет, в основном, за счет креатинфосфокиназного пути, следовательно, зависит от содержания в мышце КФ.

Скорость, как и сила, относится к анаэробной работоспособности, в зоне максимальной и субмаксимальной мощности. Биохимическая основа быстроты связана с развитием белых быстросокращающихся мышечных волокон и АТФ-азной активностью миозина. Чем более выражен в процессе тренировки скоростной компонент, тем в большей степени возрастают возможности анаэробного энергетического обеспечения работы – значительно увеличиваются запасы КФ и гликогена мышц, которые являются «топливом» в данном виде нагрузок. Повышается активность ферментов анаэробных механизмов синтеза АТФ – креатинфосфокиназы и ферментов гликолиза. Еще одним показателем адаптации организма к скоростным нагрузкам является повышение буферной емкости крови (увеличение щелочного резерва крови), так как упражнения такой мощности и интенсивности сопровождаются повышенным образованием молочной и пировиноградной кислот.

Выносливость определяет общий уровень работоспособности спортсмена. Выносливость можно охарактеризовать как аэробную работоспособность в зоне высокой и умеренной мощности. Длительную работу обеспечивают медленно сокращающиеся красные мышцы. Аэробная нагрузка зависит от снабжения кислородом мышечных клеток. Возрастают возможности аэробных окислительных процессов и в большей степени увеличивается содержание веществ, имеющих к ним отношение. Большое значение приобретает кислородная емкость крови (уровень гемоглобина в крови), а также содержание миоглобина в красных мышцах, который запасает кислород. Нагрузки на выносливость способствуют увеличению количества митохондрий в мышечных клетках, а также повышению активности ферментов аэробного окисления (ферментов ЦТК и дыхания). Энергетическими ресурсами, обеспечивающими длительную работу, являются гликоген мышц и особенно печени, жирные кислоты. При продолжительной работе могут использоваться и аминокислоты.

Совершенствование качеств двигательной деятельности в процессе тренировки связано с характером и методикой выполнения физических упражнений. Это вытекает из положения о специфичности биохимической адаптации организма. Причины этого кроются в особенностях протекания биохимических процессов при работе различного характера и различной длительности.

В процессе тренировки развиваются и совершенствуются те биохимические системы, которые имеют наибольшее значение во время работы. При выполнении скоростных упражнений максимальной и субмаксимальной мощности синтез АТФ происходит преимущественно анаэробным путем, поэтому под влиянием тренировки в этих упражнениях особенно увеличиваются возможности анаэробного синтеза АТФ, что составляет одну из биохимических основ быстроты и скоростной выносливости. Однако при упражнениях этого рода из-за наступающего снижения содержания АТФ затрудняется синтез белка. Расщепление начинает преобладать над синтезом, и содержание белков в мышцах тоже снижается. В период отдыха синтез белков увеличивается и наступает не только

восстановление, но и сверхвосстановление затраченных белков. Содержание их в мышцах становится большим, чем до работы. Происходит увеличение мышечной массы, а в связи с увеличением содержания миозина возрастает и АТФ-азная активность мышц. Все это составляет биохимическую основу качества силы. В периоде отдыха после скоростных упражнений анаэробный синтез АТФ сменяется энергичным аэробным окислением и дыхательным фосфорилированием. А это, в свою очередь, приводит в процессе тренировки и к увеличению возможностей аэробного окисления, что является одним из компонентов биохимической выносливости к длительным нагрузкам (Рис. 10).

Таким образом, применение в процессе тренировки скоростных нагрузок не только приводит к развитию быстроты и скоростной выносливости, но и создает предпосылки для развития силы и выносливости к длительной работе. Правда, скоростные нагрузки не создают в процессе тренировки второго компонента биохимических основ выносливости – повышения запасов гликогена в печени (так как гликоген печени при скоростных нагрузках тратится в малой степени), но все же они влияют на организм спортсмена наиболее разносторонне.

Иное наблюдается при тренировке с применением длительных нагрузок в условиях устойчивого состояния процессов обмена веществ. Анаэробный ресинтез АТФ имеет место только в начале работы очень короткое время и не оказывает сколько-нибудь существенного влияния на биохимические изменения, происходящие в организме. На протяжении всей работы преобладает дыхательный ресинтез АТФ. Интенсивно расходуется гликоген печени. Расщепление и синтез белков находятся в равновесии, и содержание белков в мышцах не изменяется. Поэтому тренировка в упражнениях на выносливость хорошо развивает возможности аэробного, дыхательного, ресинтеза АТФ и приводит к увеличению запасов гликогена в печени, т. е. закладывает биохимические основы выносливости к длительной работе. Но такая тренировка не создает биохимических основ силы и быстроты. Более того, она может оказывать на них даже отрицательное влияние. Таким образом, длительные упражнения на выносливость влияют на организм в процессе тренировки наиболее односторонне.

Тренировка в силовых упражнениях, поскольку при ней мышечные белки подвергаются наибольшему изменению, приводит к наиболее значительному синтезу их, а следовательно, к наибольшему увеличению мышечной массы и АТФ-азной активности мышц, т.е. биологических основ силы. Вместе с тем силовые упражнения в значительной мере сопровождаются анаэробным ресинтезом АТФ (хотя и в меньшей степени, чем скоростные нагрузки). Поэтому силовая тренировка приводит к некоторому увеличению возможностей креатинкиназного и гликолитического ресинтеза АТФ, создавая предпосылки и для развития качества быстроты. Что же касается возможностей аэробного, дыхательного, синтеза АТФ, то под влиянием тренировки в силовых упражнениях они повышаются в очень небольшой степени. Мало того, такая тренировка может оказывать на биохимические основы выносливости даже

отрицательное влияние. Причины этого в настоящее время еще недостаточно выяснены.

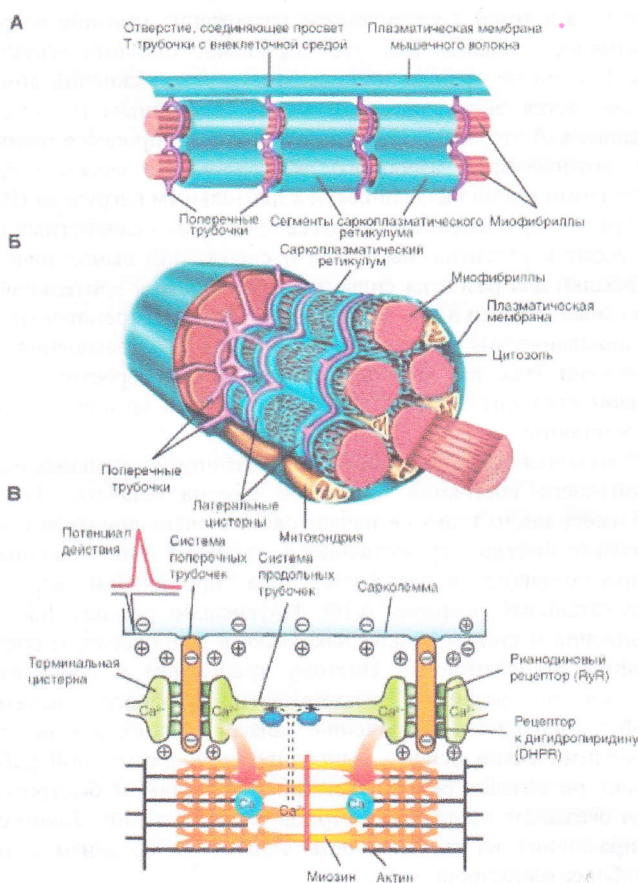


Рис 10. Биохимические основы мышечного сокращения

Хотя тренировка, направленная на развитие какого-либо одного качества, и может создавать биохимические предпосылки для развития других качеств, но этих побочных влияний далеко недостаточно для достижения высоких спортивных результатов.

Тренировка в любом виде спорта должна иметь в своей основе разностороннюю общую физическую подготовку, на базе которой следует развивать те качества, которые в данном виде спорта имеют ведущее значение.

Различия в эффекте тренировки зависят не только от характера выполняемых упражнений, но и от методики их применения. Так, интервальный метод тренировки (постепенное сокращение интервалов отдыха между нагрузками или увеличение нагрузок при неизменном интервале отдыха

между ними) в большей степени развивает «анаэробную работоспособность» и скоростную выносливость, а повторный и переменный методы (повторение одинаковых или изменяющихся нагрузок при оптимальных интервалах отдыха) способствуют развитию аэробных, дыхательных механизмов ресинтеза АТФ и выносливости к работе в условиях устойчивого состояния. Выполнение силовых нагрузок в изометрическом режиме приводит к значительному увеличению массы и статической силы мышц, темповые же силовые упражнения развивают динамическую силу и быстроту.

Биохимические основы двигательных качеств формируются по принципу гетерохронизма. Сначала развивается аэробная выносливость, затем сила и скорость. Увеличение возможностей дыхательного ресинтеза АТФ создаёт базу для развития скоростных и силовых возможностей организма. При тренировке одних физических качеств создаются предпосылки для развития других.

Проявление основных двигательных качеств во многом определяется морфофункциональными характеристиками мышечной ткани (соотношением быстро- и медленносокращающихся мышечных волокон, длиной саркомера) и особенностями её биохимического состава.

Для развития скоростно-силовых качеств в настоящее время используются два основных методических приёма – метод максимальных усилий и метод повторных предельных упражнений. Для того, чтобы увеличить запасы креатинфосфата в организме, необходимо использовать такие упражнения, которые сопровождаются значительным его расходом, а для того, чтобы повысить гликолитические возможности, необходимы нагрузки, которые предельно стимулируют анаэробное окисление углеводов. Значительное увеличение запасов креатинфосфата в организме может быть достигнуто за счёт использования интервального метода.

Спортсмену предлагается серия нагрузок, близкая по интенсивности к максимально возможной, продолжительность каждого упражнения не должна превышать 10 с. За 90 с отдыха между отдельными упражнениями восстанавливается значительная часть креатинфосфата, при этом сохраняется повышенная возбудимость организма.

Для развития скоростно-силовой выносливости используется метод максимальных усилий, метод повторных предельных упражнений.

Для развития силы используются упражнения максимальной мощности с интервалами отдыха 3-6 минут и с числом повторений 8-12 раз. Это увеличивает АТФ-азную активность миозина, повышает число сократительных белков и креатинфосфата.

Выносливость к длительным нагрузкам развивается при использовании метода длительной непрерывной работы (более 30 минут), интервального метода выполнения работы (30-90 секунд с такими же интервалами отдыха в условиях истинного устойчивого состояния по кислороду, при его потреблении равном 50% от МПК).

КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ ПО ПРОЙДЕННОЙ ТЕМЕ

1. При адаптации к какой нагрузке наблюдается увеличение количества митохондрий в мышечных волокнах?

- а) скоростной; б) силовой;
 в) на выносливость; г) все ответы правильные.
2. Выносливость к длительной работе обеспечивается аэробным компонентом на...
- а) 70% б) 10%
 в) 1% г) 100%
3. Чем длиннее саркомер, тем выше качество...
- а) быстроты; б) силы;
 в) выносливости; г) работоспособности.
4. Развитие алактатного компонента выносливости обеспечивает...
- а) биологическое окисление; б) креатинфосфокиназная реакция;
 в) миокиназная реакция; г) гликолиз.
5. МПК – максимальное потребление кислорода при мышечной деятельности у высококвалифицированных спортсменов составляет...
- а) 15 л · мин⁻¹ б) 200 мл · мин⁻¹
 в) 7,5 л · мин⁻¹ г) 2,5 л · мин⁻¹
6. Повышение активности каких ферментов является результатом адаптации к нагрузкам на выносливость?
- а) гликолиза; б) миокиназной реакции;
 в) пищеварительных; г) аэробного синтеза АТФ.
7. Метод длительной непрерывной работы используется для развития качества...
- а) скорости; б) силы;
 в) ловкости; г) выносливости к длительной нагрузке.
8. Скоростно-силовая выносливость определяется алактатным компонентом на:
- а) 10% б) 30%
 в) 70% г) 100%
9. Какой из нижеприведенных качеств является показателем адаптации к скоростной (спринтерской) работе?
- а) большее развитие медленных красных волокон;
 б) повышение гемоглобина в крови;
 в) увеличение «щелочного резерва» крови;
 г) увеличение количества вовлеченных в сокращение мышечных волокон.
10. Для развития алактатных возможностей организма надо использовать упражнения максимальной мощности:
- а) 10 секунд; б) 2 часа;
 в) 5 минут; г) 30 минут.
11. Для развития лактатных возможностей организма надо использовать упражнения субмаксимальной мощности длительностью:
- а) 10 секунд; б) 3 минуты;
 в) 30 минут; г) 1 час.
12. От длины саркомера зависит развитие таких двигательных качеств, как сила и быстрота, чем длиннее саркомер, тем...
- а) больше сила сокращения; б) меньше сила сокращения;
 в) быстрее сокращение; г) нет зависимости.

ВОПРОСЫ

1. Назовите биохимические факторы, определяющие проявление алактатного, гликолитического и аэробного компонентов выносливости.
2. Какие биохимические и структурные факторы определяют проявление скорости?
3. Какие биохимические и структурные факторы определяют проявление силы?
4. Биохимическая характеристика средств и методов тренировки, направленных на развитие выносливости, силы, скорости.

БИОХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ В СПОРТЕ

Биохимический контроль – одно из звеньев в комплексном контроле за состоянием спортсмена, наряду с медицинским, педагогическим и психологическим. Известно, что любое изменение функционального состояния организма - утомление, восстановление, перетренированность, адаптация и т.д. проходят на фоне изменения обмена веществ, что приводит к появлению или изменению концентраций в тканях и биологических жидкостях некоторых метаболитов, которые являются показателями функциональных изменений организма. Биохимический контроль позволяет оценить эффективность и рациональность выполняемой индивидуальной тренировочной программы, наблюдать за адаптационными изменениями основных энергетических систем и функциональной перестройки организма в процессе тренировки, диагностировать предпатологические и патологические изменения метаболизма спортсменов. Биохимический контроль позволяет решать и другие задачи, как: выявление реакции организма на физические нагрузки, оценка уровня тренированности, адекватность применения фармакологических и других средств для продления работоспособности и восстановления организма, воздействия климатических факторов и т.д.

Система биохимического контроля включает:

- текущее или оперативное обследование (ТО), проводимые повседневно в связи с планом подготовки;
- этапные комплексные обследования (ЭКО), проводимые 3-4 раза в год;
- углубленные комплексные обследования (УКО), проводимые 2 раза в год;
- обследования соревновательной деятельности (ОСД).

На основании текущих обследований определяют функциональное состояние спортсмена – оценивают уровень срочного и отставленного тренировочного эффекта физических нагрузок, проводят коррекцию физической нагрузки в ходе тренировок.

В процессе этапных и комплексных обследований с помощью биохимических показателей можно оценить кумулятивный тренировочный эффект.

При биохимическом обследовании особое внимание уделяют выбору тестирующих показателей – они должны быть надёжными либо воспроизводимыми, повторяющимися при многократном контрольном

обследовании, информативными, отражающими сущность изучаемого процесса, а также взаимосвязанными с со спортивными результатами.

Коротко сформулировать цели каждого вида контроля можно следующим образом:

1. Оценка направленности и эффективности тренировочной нагрузки («срочного» тренировочного эффекта);
2. Оценка общей и специальной тренированности и ее динамики (отставленного или кумулятивного тренировочного эффекта);
3. Оценка «спортивной формы».

Объектами биохимического исследования являются выдыхаемый воздух и биологические жидкости: кровь, моча, пот, слюна, а также мышечная ткань.

При биохимическом обследовании в практике спорта используются следующие биохимические показатели:

- энергетические субстраты (АТФ, КрФ, глюкоза, свободные жирные кислоты);
- ферменты энергетического обмена (АТФ-аза, КрФ-киназа, цитохромоксидаза, лактатдегидрогеназа, сукцинатдегидрогеназа и др.);
- промежуточные и конечные продукты обмена углеводов, липидов и белков (молочная кислота, пировиноградная кислота, кетонные тела, мочевины, креатинин, креатин, мочевая кислота, углекислый газ и др.);
- показатели кислотно-основного состояния крови (рН крови, парциальное давление CO_2 , резервная щелочность или избыток буферных оснований и др.);
- регуляторы обмена веществ (ферменты, гормоны, витамины, активаторы, ингибиторы);
- минеральные вещества в биологических жидкостях (концентрация ионов K , Na , Cl в крови, бикарбонаты и соли фосфорной кислоты (для характеристики буферной ёмкости крови));
- содержание общего белка, количество и соотношение белковых фракций в плазме крови;
- анаболические стероиды и др. запрещенные вещества (допинги) в спортивной практике, выявление которых – задача допингового контроля.

Основные биохимические показатели крови и мочи и их изменение при мышечной деятельности

Показатели углеводного обмена

Глюкоза. Глюкоза является основным углеводом крови и поддерживается на постоянном уровне в пределах $3,3\text{-}5,5 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ (80-120 мг%). Изменение её содержания в крови при нагрузке зависит от уровня тренированности, а также от интенсивности и продолжительности работы. По изменению содержания глюкозы в крови судят о скорости аэробного окисления её в тканях и интенсивности мобилизации гликогена печени.

Кратковременные нагрузки в зоне субмаксимальной мощности могут вызвать повышение уровня глюкозы в крови за счет усиления мобилизации гликогена печени. Длительные нагрузки приводят к снижению концентрации глюкозы в крови. У нетренированных лиц это снижение более выражено, чем у

тренированных. Повышенное содержание глюкозы в крови свидетельствует, либо об интенсивном распаде гликогена в печени, либо относительно малом использовании её тканями. Пониженное же содержание – говорит об исчерпании запасов гликогена печени, либо об интенсивном использовании глюкозы тканями организма.

Уровень глюкозы в крови зависит не только от степени тренированности спортсмена, от интенсивности и продолжительности физической нагрузки, запасов гликогена в печени, но и от эмоционального состояния спортсмена, гуморальных механизмов регуляции, питания и некоторых других факторов. Поэтому данный показатель в спортивной практике редко используется самостоятельно для анализа обмена углеводов.

В моче здорового человека глюкоза отсутствует, но при определенных состояниях, как, например: интенсивная мышечная деятельность, эмоциональное возбуждение перед стартом, избыточное поступление с пищей (алиментарная глюкозурия) увеличивается её уровень в крови и в моче. Появление глюкозы в моче при физических нагрузках свидетельствует об интенсивной мобилизации ее из печени.

Молочная кислота. Содержание молочной кислоты в крови в норме в состоянии относительного покоя составляет $1-1,5$ ммоль \cdot л⁻¹ (15-30 мг%) и существенно возрастает при выполнении интенсивной мышечной работы. Молочная кислота - конечный продукт гликолиза, который является основным способом синтеза АТФ при физической нагрузке в зоне субмаксимальной мощности. Молочная кислота, образующаяся в мышцах во время кратковременной и интенсивной работы, вымывается в кровь. Выход её в кровь после прекращения работы происходит постепенно, достигая максимума на 3-7-й минуте после окончания работы. Содержание лактата может возрастать у нетренированного человека до $5-6$ ммоль \cdot л⁻¹, а у тренированного – до 20 ммоль \cdot л⁻¹ выше. В аэробной зоне физических нагрузок лактат составляет $2-4$ ммоль \cdot л⁻¹, в анаэробной в среднем – более 10 ммоль \cdot л⁻¹. Условная граница анаэробного обмена соответствует 4 лактата в 1 л крови и обозначается как порог анаэробного обмена (ПАНО), или лактатный порог (ЛП).

Значительное повышение уровня лактата в крови после выполнения максимальной работы свидетельствует о более высоком уровне тренированности, в том числе, о большей метаболической ёмкости гликолиза, большей устойчивости ферментов и других белков к смещению рН в кислую сторону и большей мощностью буферных систем крови (высокий щелочной резерв) для быстрой нормализации этой константы гомеостаза.

Таким образом, изменение содержания лактата в крови является показателем анаэробных (гликолитических) возможностей организма, что позволяет проводить отбор спортсменов, а также контролировать тренировочные нагрузки и процессы восстановления организма.

Показатели липидного обмена

Свободные жирные кислоты (СЖК). В норме содержание свободных жирных кислот составляет $0,1-0,4$ ммоль \cdot л⁻¹. По изменению содержания СЖК в крови судят о степени подключения липидов к процессам энергообеспечения

мышечной деятельности, а также об экономичности энергетических систем и степень сопряжения между липидным и углеводным обменом. Уровень СЖК в крови отражает скорость липолиза триглицеридов в печени и жировых депо.

Кетоновые тела. Содержание кетоновых тел в крови в норме небольшое – $8 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$. Образуются они в печени из ацетил-КоА при усиленном окислении жирных кислот в тканях организма, затем, через кровь поступают в ткани, где большая часть используется, как энергетический субстрат, а меньшая выводится из организма с мочой. По увеличению концентрации кетоновых тел в крови и появлению их в моче определяют переход энергообразования с углеводных источников на липидные при физической нагрузке. Быстрое подключение липидных источников указывает на экономичность механизмов энергообразования, что свидетельствует об адаптированности (тренированности) организма.

При повышении уровня кетоновых тел до $20 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ (кетонемия) они могут появиться в моче (кетонурия), тогда как в норме в моче кетоновые тела не выявляются. У здоровых людей кетоновые тела в моче наблюдаются при голодании, исключении углеводов из рациона питания, а также при выполнении физических нагрузок большой продолжительности или мощности.

Фосфолипиды. Содержание фосфолипидов в крови в норме составляет $1,52-3,62 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$. Изменение их уровня в крови является диагностическим тестом для многих патологических процессов. При физических нагрузках может наблюдаться снижение концентрации фосфолипидов в крови, относительно нормальных показателей, в результате жировой дистрофии печени.

Показатели белкового обмена.

Мочевина. При распаде белков и аминокислот кроме CO_2 и H_2O образуется токсичное вещество – аммиак (NH_3), которое в печени превращается в менее токсичное вещество – мочевину. Концентрация мочевины в норме в крови каждого взрослого человека индивидуальна – в пределах $3,5-6,5 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$. Она может увеличиваться до $7-8 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ при большом поступлении белков с пищей, до $9 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ и более после выполнения длительной физической работы за счет усиления катаболизма белков и до $16-20 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ - при нарушении выделительной функции почек. Этот показатель широко используется при оценке переносимости спортсменом физических нагрузок и процесса восстановления. Если выполненная физическая нагрузка адекватна функциональным возможностям организма, то содержание мочевины в крови на следующее утро (натощак) после нагрузки возвращается в норму. Превышение же данного показателя свидетельствует о недовосстановлении или развития состояния переутомления.

Обнаружение белка в моче. У здорового человека белок в моче отсутствует. Появление его в моче (протеинурия) отмечается при заболеваниях почек, а также при избыточном поступлении белков с пищей или после физической нагрузки, чаще анаэробной направленности. Это связано с нарушением проницаемости мембран почек (вследствие ацидоза) и выхода белков плазмы в мочу. По наличию белка в моче после выполнения физической нагрузки судят о её мощности. Так, при работе в зоне большой мощности она

составляет 0,5%, при работе в зоне субмаксимальной мощности может достигать 1,5%.

Креатинин. Это вещество образуется в мышцах в процессе распада креатинфосфата. Суточное выделение его с мочой относительно постоянно для данного человека и зависит от мышечной массы тела. У мужчин оно в среднем составляет $18-32 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ массы тела в сутки, у женщин – $10-25 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$. По содержанию креатинина в моче можно косвенно оценить скорость креатинкиназной реакции, а также содержание мышечной массы тела. По количеству креатинина, выделяемого с мочой, определяют содержание тощей мышечной массы тела согласно следующей формуле:

Тощая масса = $0,0291 \times \text{креатинин мочи} (\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}) + 7,38$

Изменение количества тощей массы тела свидетельствует о снижении и, либо увеличении массы тела спортсмена за счет белков, что важно при занятиях силовыми видами спорта.

Креатин. Креатин в норме в моче взрослых людей отсутствует. Его обнаружение в моче наблюдается при перетренировке и патологических изменениях в мышцах, что может использоваться как тест при выявлении реакции организма на физические нагрузки.

Показатели кислотно-основного состояния (КОС) организма

Физическая нагрузка сопровождается изменением кислотно-основного состояния организма, что связано с истощением буферных систем крови и тканей, а также утомлением дыхательной и выделительной систем. Показатели кислотно-основного равновесия имеют важное значение для диагностики состояния организма спортсмена. Приведем лишь некоторые из них:

- pH крови (7,34 – 7,44);

- $p\text{CO}_2$ – парциальное давление углекислого газа в крови (35-45 мм рт. ст.);

- BE – избыток оснований (щелочной резерв) (от – 2,4 до +2,3 мэкв $\cdot \text{л}^{-1}$) – показатель избытка или недостатка буферной емкости.

По изменению показателей КОС при физической нагрузке можно контролировать реакцию организма на физическую нагрузку и рост тренированности. Наиболее информативным показателем в этом случае является величина BE – щелочной резерв буферных систем крови, который увеличивается с повышением квалификации спортсменов, особенно специализирующихся в скоростных (скоростно-силовых) видах спорта.

Активная реакция мочи (pH) находится в прямой зависимости от КОС организма. При метаболическом и респираторном ацидозе кислотность мочи увеличивается до pH 5, что свидетельствует о снижении данного показателя в крови.

Биологически активные вещества

Ферменты. Диагностический интерес в спортивной практике представляют некоторые тканевые ферменты, которые при различных функциональных состояниях организма поступают в кровь из скелетных мышц и других тканей. Появление в крови таких ферментов или их отдельных изоформ связано с нарушением проницаемости клеточных мембран, что наблюдается при различных обменных и физиологических нарушениях.

Поэтому такие ферменты называют индикаторными. В спортивной практике часто определяют наличие в крови таких ферментов биологического окисления, как альдолаза – фермент гликолиза и каталаза – фермент, осуществляющий восстановление перекисей водорода (которые образуются в небольшом объеме при окислительных процессах). После физической нагрузки в крови могут появиться изоформы некоторых ферментов, характерные для определенных тканей. Некоторые ферменты имеют изоформы, характерные для определенной ткани. Так, после физических нагрузок в крови могут обнаруживаться отдельные изоформы креатинкиназы, лактатдегидрогеназы, характерные для скелетных мышц. Если физическая нагрузка вызывает значительный выход тканевых ферментов в кровь и они долго сохраняются в периода отдыха, то это свидетельствует о невысоком уровне тренированности спортсмена, а, возможно, и о предпатологическом состоянии организма.

Гормоны. При биохимической диагностике функционального состояния спортсмена могут определяться более 20 различных гормонов, регулирующие разные звенья обмена веществ. Величина изменения содержания гормонов в крови зависит от мощности и длительности выполняемых нагрузок, а также от степени тренированности спортсмена. При работе одинаковой мощности у более тренированных спортсменов наблюдаются менее значительные изменения этих показателей в крови. Кроме того, по изменению содержания гормонов в крови можно судить об адаптации организма к физическим нагрузкам, интенсивности регулируемых ими обменных процессов, развитии процессов утомления, применении гормональных средств (например, анаболических стероидов).

Некоторые показатели минерального обмена

Изменение показателей минерального обмена в организме при физической нагрузке взаимосвязано с водным обменом и зависит от специфики вида спорта, уровня квалификации спортсмена, условий окружающей среды (температуры и влажности).

При кратковременной нагрузке содержание отдельных минеральных веществ снижается только на 5-7%, что не оказывает существенного влияния на физическую работоспособность. При анаэробных физических нагрузках спортсмены теряют много фосфора. По изменению его концентрации в крови можно судить о мощности креатинкиназного механизма энергообеспечения, а также об уровне тренированности, так как прирост неорганического фосфата в крови спортсмена высокой квалификации при выполнении анаэробной нагрузки больше, чем у спортсменов меньшей квалификации. Существенные изменения в минерального обмена наблюдаются в организме спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость. Длительная физическая работа сопровождается значительным потоотделением, что способствует снижению содержания в плазме крови натрия, калия и хлора. Так, при длительных нагрузках (до 3-4 часов) концентрация натрия в крови может снизиться до $112 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ (при норме $140 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$). Нарушения водно-минерального баланса может лимитировать физическую работоспособность.

КОНТРОЛЬ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ОРГАНИЗМА ПРИ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Степень подключения креатинфосфокиназного механизма при выполнении физической нагрузки можно оценить по увеличению в крови содержания продуктов обмена креатинфосфата в мышцах – креатина, креатинина и неорганического фосфата или изменению их содержания в моче. Для оценки мощности и ёмкости вышеуказанного механизма энергообразования используются показатели общего алактатного кислородного долга, количество креатинфосфата и активность креатинфосфокиназы в мышцах. У тренированного спортсмена эти показатели значительно выше, что свидетельствует о повышении возможностей алактатного механизма энергообразования.

Для характеристики гликолитического пути синтеза АТФ часто используют величину максимального накопления лактата при максимальных физических нагрузках, а также величину общего и лактатного кислородного долга, показатели КОС крови, уровень глюкозы в крови и гликогена в мышцах, активность ферментов лактатдегидрогеназы и др. О повышении возможностей лактатного энергообразования у спортсменов свидетельствует более поздний выход на максимальное количество лактата в крови при предельных физических нагрузках, а также более высокий его уровень. Концентрация молочной кислоты в крови в норме составляет 1-1,5 ммоль/л¹. Так, у высококвалифицированных спортсменов-спринтеров количество молочной кислоты в крови при кратковременных интенсивных нагрузках может возрастать до 26 ммоль/л¹ и более, тогда как у нетренированных людей максимально переносимое количество лактата составляет 5-6 ммоль/л¹, а 10 ммоль/л¹ может привести к летальному исходу. Эти показатели свидетельствуют об увеличении буферной ёмкости крови (а именно щелочного резерва) у спортсменов, специализирующихся в скоростных видах спорта, а также об увеличении ёмкости гликолиза, повышении активности ферментов этого процесса и об увеличении запасов гликогена в скелетных мышцах.

Для оценки мощности аэробного механизма энергообразования чаще всего используется показатель кислородтранспортной системы крови – концентрация гемоглобина, уровень максимального потребления кислорода (МПК или VO_{2max}) время наступления ПАНО (порог анаэробного обмена). Об увеличении мощности аэробного механизма энергообразования свидетельствует повышение VO_{2max} . Максимальное потребление кислорода у взрослых людей, не занимающихся спортом, у мужчин составляет 3,5 л/мин¹, у женщин – 2,0 л/мин¹ и зависит от массы тела. У высококвалифицированных спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость абсолютная величина VO_{2max} у мужчин может достигать 6-7 л/мин¹, у женщин – 4-5 л/мин¹.

При длительности работы на уровне ПАНО судят о повышении ёмкости механизма аэробного энергообразования. Нетренированные люди могут выполнять работу на уровне ПАНО не более 5-6 минут. У спортсменов,

специализирующихся в видах спорта на выносливость (стайеры), длительность работы на уровне ПАНО может продолжаться 1-2 часа.

Эффективность аэробного пути синтеза АТФ зависит и от количества митохондрий в мышечных клетках и активности окислительных ферментов, принимающих участие в процессах дыхания и окислительного фосфорилирования. Также, под влиянием аэробной тренировки увеличивается скорость окисления жиров и увеличение их роли в энергообеспечении организма при нагрузке.

Таблица 6.

Изменение показателей анаэробных механизмов энергообеспечения в процессе тренировки

Показатели	Нетренированный организм	Тренированный организм
O ₂ -долг общий	5-6 л (мужчины), 3-4 л (женщины)	13-15 л (мужчины), 8-10 (женщины)
алактатный лактатный	15-18 % от общего 82-85% от общего	- -
Креатинфосфат в четырёхглавой мышце бедрца	25 ммоль · кг ⁻¹ сырой ткани	в 2-3 раза больше
Креатинфосфокиназа: в покое после физической нагрузки	20 усл. ед. · мг ⁻¹ 200-250 усл. ед. · мг ⁻¹	- 500-600 усл. ед. · мг ⁻¹
лактат крови: в покое после физической нагрузки	1-1,5 ммоль · л ⁻¹ 5-6 ммоль · л ⁻¹	1-1,5 ммоль · л ⁻¹ 10-15 ммоль · л ⁻¹ (до 26 ммоль · л ⁻¹ и более)
pH крови в покое после физической нагрузки	7,34-7,44 7,20	7,34-7,44 6,90
Гликоген мышц	130 ммоль · кг ⁻¹	+50% и больше

КОНТРОЛЬ ЗА УРОВНЕМ ТРЕНИРОВАННОСТИ, УТОМЛЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНА

Уровень тренированности в практике обследования за функциональным состоянием спортсмена оценивается по изменению количественных и качественных показателей крови. О более высоком уровне тренированности свидетельствуют:

- меньшее накопление лактата (по сравнению с тренированными) при выполнении стандартной нагрузки, что с увеличением доли аэробных механизмов в энергообеспечении этой работы;

- большее накопление лактата при выполнении предельной работы, что связано с увеличением ёмкости гликолитического механизма энергообеспечения;

- повышение ПАНО (мощность работы, при которой резко возрастает уровень лактата в крови) у тренированных лиц по сравнению с нетренированными;

- более длительная работа на уровне ПАНО;

- меньшее увеличение содержания лактата в крови при возрастании мощности работы, что объясняется совершенствованием анаэробных процессов и экономичностью энерготрат организма;

- увеличение скорости утилизации молочной кислоты в период восстановления.

Контроль за процессами утомления и восстановления необходим для оценки переносимости физической нагрузки и выявления перетренированности, достаточности времени отдыха и эффективности применения средств повышения работоспособности.

С увеличением уровня адаптации спортсменов к аэробной нагрузке (на выносливость) увеличивается общая масса крови: у мужчин – до 7-8 л и до 5,5-6 л у женщин, а также возрастает концентрация гемоглобина в крови до $160-180 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ у мужчин и до $130-150 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ у женщин.

Состояние утомления связано с истощением энергетических запасов клетки и организма в целом, накоплением конечных и промежуточных продуктов обмена и, поэтому, контролируется по изменению концентрации этих веществ.

В спортивной диагностике для выявления утомления часто используют определение содержания гормонов симпато-адреналовой системы (адреналина и продуктов его обмена).

КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ ПО ПРОЙДЕННОЙ ТЕМЕ

1. Какие биохимические показатели используются для оценки работы энергетических систем организма?

- а) уровень глюкозы в крови; б) резервная щелочность;
в) активность КрФ-киназы; г) соотношение белковых фракций в плазме крови.

2. Какие биохимические показатели характеризуют работу гликолитического механизма энергообеспечения организма?

- а) концентрация кетоновых тел в крови;
б) величина общего и лактатного O_2 -долга;
в) активность окислительных ферментов цикла Кребса;
г) содержание гемоглобина в крови.

3. Для характеристики мощности аэробного механизма энергообразования используют следующие биохимические критерии:

- а) активность лактатдегидрогеназы;
б) концентрация анаболических гормонов в крови;
в) рН крови;
д) уровень МПК.
4. Для характеристики уровня развития креатинфосфокиназного механизма синтеза АТФ используют следующие биохимические показатели крови:
а) концентрация лактата;
б) показатели КОС;
в) активность сукцинатдегидрогеназы и цитохромоксидазы;
г) показатели общего и алактатного O_2 - долга.
5. Какие из биохимических критериев не указывают на КОС организма? (2)
а) уровень МПК; б) рН крови;
в) парциальное давление CO_2 в крови; г) активная реакция мочи;
6. При какой концентрации лактата в крови судят о переходе с аэробного механизма энергообеспечения на анаэробный?
а) 4 ммоль/л^{-1} ; б) 10 ммоль/л^{-1} ;
в) $1-1,5 \text{ ммоль/л}^{-1}$ г) более 20 ммоль/л^{-1} .
7. Максимальный уровень молочной кислоты в крови нетренированного человека может быть не более:
а) до 26 ммоль/л^{-1} ; б) до 10 ммоль/л^{-1}
в) $2-4 \text{ ммоль/л}^{-1}$; г) 20 ммоль/л^{-1} .
8. Какие биохимические показатели крови свидетельствуют о развитии утомления в процессе аэробной работы?
а) повышение концентрации лактата более $10 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$;
б) повышение содержания кетоновых тел до $20 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$;
в) гипогликемия;
г) смещение рН в кислую сторону (ацидоз).
9. Назовите биохимические «маркеры утомления» при анаэробной физической нагрузке: (2)
а) повышение концентрации лактата до $10 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$;
б) повышение содержания кетоновых тел до $20 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$;
в) обнаружение белка в моче;
г) повышение уровня креатина в моче.
10. Что из перечисленного свидетельствует об адаптации организма спортсмена к аэробным нагрузкам (на выносливость)? (2)
а) увеличение длительности работы на уровне ПАНО;
б) уровень МПК $6-7 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$ у мужчин и $4-5 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$ у женщин;
в) пониженное или в норме содержание гемоглобина в крови;
г) большее накопление молочной кислоты в крови при выполнении предельной работы;

ВОПРОСЫ

1. Каковы основные принципы спортивной тренировки? Как они согласуются с процессами адаптации организма к мышечной нагрузке?
2. Каковы правила выбора времени для повторной физической нагрузки на основании явления суперкомпенсации?

ЛИТЕРАТУРА:

1. Платонов В. Н. Система подготовки спортсменов в Олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В. Н. Платонов. - К.: Олимп. лит., 2004. - 808 с.
2. Deckerle J. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power / J. Deckerle, B. Baron, L. Dupont et al. // *Eur J. of Appl. Physiol.* - 2003. - May. - Vol. 89 (3-4). - P. 281-288.
3. Перепелюкова Е.В. Новые оздоровительные технологии в физкультурной практике вуза // Актуальные проблемы физической культуры и спорта в условиях модернизации высшей школы: Материалы II Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. - Челябинск: Цицеро, 2013. С.203-206.
4. Шамардин А.А., Солопов И.Н. Функциональные аспекты тренировки спортсменов // *Фундаментальные исследования.* - 2013. - № 10-13. - С. 2996-3000;
URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=32952> (дата обращения: 24.08.2020).
5. Реаберн, П., Даскомб, Б. Анаэробные показатели у спортсменов-мастеров. *Eur Rev Aging Phys Act* 6, 39 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11556-008-0041-6>
6. Вебер К.Л., Шнайдер Д.А. Повышение максимального накопленного дефицита кислорода после высокоинтенсивной интервальной тренировки не зависит от пола // *Журнал прикладной физиологии.* - 2002. - Т. 92. - №. 5. - С. 1795-1801.
7. Lanza IR, Befroy DE, Kent-Braun JA. Age-related changes in ATP-producing pathways in human skeletal muscle in vivo. *J Appl Physiol* (1985). 2005;99(5):1736-1744. doi:10.1152/jappphysiol.00566.2005

