

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина»
(ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина»)
Институт социальных технологий



Основы спортивной биохимии

Учебное пособие

Текстовое учебное электронное издание на компакт-диске

Сыктывкар

Издательство СГУ им. Питирима Сорокина

2019

© ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина», 2019

© Оформление. Издательство СГУ им. Питирима
Сорокина, 2019

[Титул](#)

[Об издании](#)

[Производственно-технические сведения](#)

[Оглавление](#)

УДК 577.1
ББК 28.072
075

Все права на размножение и распространение в любой форме остаются
за организацией-разработчиком.
Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.

*Издается по постановлению научно-методического совета
ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина»*

Рецензент

И.О. Гарнов, к.б.н., н.с. отдела экологической и медицинской физиологии
ИФ Коми НЦ УрО РАН; ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

075 **Основы спортивной биохимии** [Электронный ресурс] : учебное пособие :
текстовое учебное электронное издание на компакт-диске / сост. Н.А. Мартынов;
Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Сыктыв. гос. ун-т
им. Питирима Сорокина». – Электрон. текстовые дан. (1 Мб). – Сыктывкар: Изд-во
СГУ им. Питирима Сорокина, 2019. – 1 опт. компакт-диск (CD-ROM). – Систем.
требования: ПК не ниже класса Pentium III ; 256 Мб RAM ; не менее 1,5 Гб на
винчестере ; Windows XP с пакетом обновления 2 (SP2) ; Microsoft Office 2003 и
выше ; видеокарта с памятью не менее 32 Мб ; экран с разрешением не менее 1024 ×
768 точек ; 4-скоростной дисковод (CD-ROM) и выше ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

В данном учебном пособии описаны биохимические основы мышечной деятельности,
рассмотрены молекулярные основы скоростно-силовых качеств и выносливости, некоторые аспекты
адаптации организма к физическим нагрузкам, вопросы утомления и восстановления, а также
затронуты проблемы питания и биохимического контроля в спорте.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки
49.03.01 «Физическая культура», а также лиц, интересующихся данным направлением.

УДК 577.1
ББК 28.072

ОГЛАВЛЕНИЕ

От составителя	4
Глава 1. Биохимические основы мышечного сокращения	5
Глава 2. Биоэнергетика мышечной деятельности	9
2.1. Аэробный путь ресинтеза АТФ	10
2.2. Анаэробные пути ресинтеза АТФ	14
2.3. Соотношение между путями ресинтеза АТФ при выполнении мышечной работы	21
Глава 3. Биохимия утомления	24
Глава 4. Молекулярные механизмы восстановления после мышечной работы ..	30
Глава 5. Биохимические основы скоростно-силовых качеств и выносливости ...	35
Глава 6. Биохимические закономерности адаптации организма к мышечной работе	46
6.1. Срочная адаптация	47
6.2. Долговременная (хроническая) адаптация	49
Глава 7. Биохимические основы питания. Особенности питания спортсменов ..	53
Глава 8. Биохимический контроль функционального состояния организма спортсмена	66
Список использованных сокращений	73
Вопросы для самоконтроля	74
Рекомендуемый библиографический список	75

ОТ СОСТАВИТЕЛЯ

Биохимия человека рассматривает химические основы жизни. В биохимии традиционно выделяют две основные задачи:

1. Изучение химического состава живого организма, строения и свойств молекул, из которых он состоит.
2. Изучение обмена веществ, т.е. химических превращений, которым подвергаются входящие в организм молекулы.

Спортивная биохимия является частным разделом биохимии человека, которая исследует влияние физических упражнений на организм человека, занимающегося спортом.

Спортивная биохимия как учебная дисциплина играет важную роль в подготовке специалистов в области физической культуры и спорта.

Специалисту в области физической культуры и спорта необходимо знать устройство объекта своей профессиональной деятельности, он должен иметь представление о химическом строении организма, в том числе о тех биохимических процессах, которые лежат в основе жизнедеятельности. Тренер обязан понимать особенности биохимических процессов во время мышечной работы и отдыха после нее, умело использовать данные закономерности для оптимального построения учебно-тренировочного процесса.

ГЛАВА 1. БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ

В научной литературе мышечное сокращение представляется сложным механохимическим процессом, в ходе которого происходит преобразование химической энергии гидролитического расщепления АТФ (аденозинтрифосфат) в механическую работу, совершаемую мышцей.

Механизм мышечного сокращения имеет следующие фазы:

1. Источником энергии, необходимой для мышечной работы, является АТФ.
2. Гидролиз АТФ, сопровождающийся выделением энергии, катализируется миозином, который обладает ферментативной активностью.
3. Пусковым механизмом мышечного сокращения является повышение концентрации ионов Ca^{2+} в саркоплазме миоцитов, вызываемое двигательным нервным импульсом.
4. Во время мышечного сокращения между толстыми и тонкими нитями миофибрилл возникают поперечные мостики, или спайки.
5. Во время мышечного сокращения происходит скольжение тонких нитей вдоль толстых, что приводит к укорочению миофибрилл и всего мышечного волокна в целом [1, 7].

Имеется много гипотез, пытающихся объяснить молекулярный механизм мышечного сокращения. Наиболее обоснованной в настоящее время является гипотеза «весельной лодки», или «гребная» гипотеза, Х. Хаксли. В упрощенном виде ее суть заключается в следующем.

В мышце, находящейся в состоянии покоя, толстые и тонкие нити миофибрилл друг с другом не соединены, так как участки связывания на молекулах актина закрыты молекулами тропомиозина.

Мышечное сокращение происходит под воздействием двигательного нервного импульса, представляющего собой волну повышенной мембранной проницаемости, распространяющуюся по нервному волокну [6].

Эта волна повышенной проницаемости передается через нервно-мышечный синапс на Т-систему саркоплазматической сети и в конечном счете

достигает цистерн, содержащих ионы кальция в большой концентрации. В результате значительного повышения проницаемости стенки цистерн за очень короткое время (около 3 мс) оно возрастает с 10^{-8} до 10^{-5} г-ион/л. Ионы кальция, находясь в высокой концентрации, присоединяются к белку тонких нитей – тропонину – и меняют его пространственную форму (конформация).

Изменение конформации тропонина, в свою очередь, приводит к тому, что молекулы тропомиозина смещаются вдоль желобка фибриллярного актина, составляющего основу тонких нитей, и освобождают тот участок актиновых молекул, который предназначен для связывания с миозиновыми головками. В результате этого между миозином и актином (т. е. между толстыми и тонкими нитями) возникает поперечный мостик, расположенный под углом 90° . Поскольку в толстые и тонкие нити входит большое число молекул миозина и актина (около 300 в каждую), то между мышечными нитями образуется довольно большое количество поперечных мостиков, или спаек.

Образование связи между актином и миозином сопровождается повышением АТФазной активности последнего (т. е. актин действует подобно аллостерическим активаторам ферментов), в результате чего происходит гидролиз АТФ:



За счет энергии, выделяющейся при расщеплении АТФ, миозиновая головка, подобно шарниру или веслу лодки, поворачивается и мостик между толстыми и тонкими нитями оказывается под углом 45° , что приводит к скольжению мышечных нитей навстречу друг другу.

Совершив поворот, мостики между толстыми и тонкими нитями разрываются. АТФазная активность миозина вследствие этого резко снижается, и гидролиз АТФ прекращается. Но если двигательный нервный импульс продолжает поступать в мышцу и в саркоплазме сохраняется высокая концентрация ионов кальция, поперечные мостики вновь образуются, АТФазная активность миозина возрастает и снова происходит гидролиз новых порций АТФ, дающий энергию для поворота поперечных мостиков с

последующим их разрывом. Это ведет к дальнейшему движению толстых и тонких нитей навстречу друг другу и укорочению миофибрилл и мышечного волокна.

В результате многократного образования, поворота и разрыва мостиков мышца может максимально сократиться, при этом тонкие нити наслаиваются друг на друга (иногда могут переплетаться), а толстые нити упираются в Z-пластинку (при сверхнапряжении их концы даже могут быть расплющены) (рис. 1).



Рис. 1. Схема строения участка максимально укороченной миофибриллы [4]

Каждый цикл сокращения (образование, поворот и разрыв мостика) требует расходования одной молекулы АТФ в качестве источника энергии. Учитывая, что во всей мышце во время ее сокращения возникает огромное количество поперечных мостиков, затраты АТФ на энергообеспечение мышечной деятельности очень велики.

Расслабление мышцы (релаксация) происходит после прекращения поступления двигательного нервного импульса. При этом проницаемость стенки цистерн саркоплазматического ретикулума уменьшается, и ионы кальция под действием кальциевого насоса, использующего энергию АТФ, уходят в цистерны. Их концентрация в саркоплазме быстро снижается до исходного уровня. Снижение концентрации кальция в саркоплазме вызывает

изменение конформации тропонина, что приводит к фиксации молекул тропомиозина в определенных участках актиновых нитей и делает невозможным образование поперечных мостиков между толстыми и тонкими нитями. За счет упругих сил, возникающих при мышечном сокращении в коллагеновых нитях, окружающих мышечное волокно, оно при расслаблении возвращается в исходное положение. Возвращению мышцы в исходное состояние также способствует сокращение мышц-антагонистов [1].

Таким образом, процесс мышечного расслабления, или релаксация, так же как и процесс мышечного сокращения, осуществляется с использованием энергии гидролиза АТФ. Гладкие мышечные волокна по строению существенно отличаются от поперечно-полосатых. В гладких мышечных клетках нет миофибрилл. Тонкие нити присоединяются к сарколемме, толстые находятся внутри волокон (рис. 2).

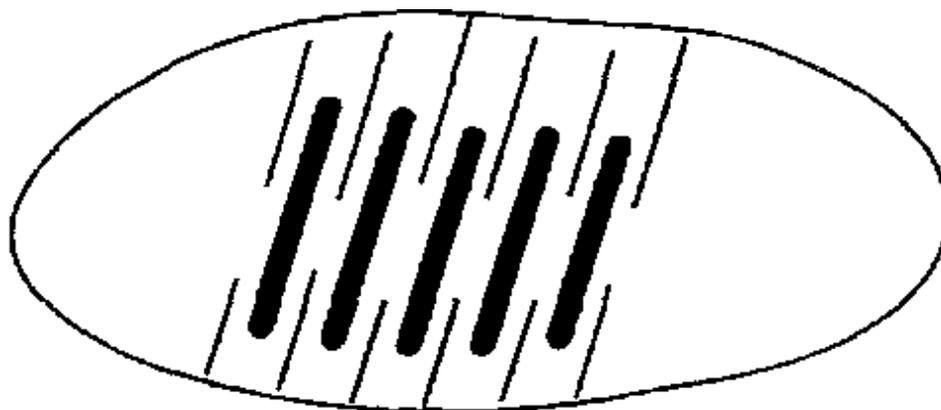


Рис 2. Схема расположения толстых и тонких нитей в гладких мышечных волокнах [4]

ГЛАВА 2. БИОЭНЕРГЕТИКА МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Обе фазы мышечной деятельности (сокращение и расслабление) протекают при обязательном использовании энергии, которая выделяется при гидролизе АТФ:



Однако запасы АТФ в мышечных клетках незначительны (в покое концентрация АТФ в мышцах около 5 ммоль/л) и их достаточно для мышечной работы в течение 1–2 с. Поэтому для обеспечения более продолжительной мышечной деятельности в мышцах должно происходить пополнение запасов АТФ. Образование АТФ в мышечных клетках непосредственно во время физической работы называется ресинтезом АТФ и идет с потреблением энергии. В зависимости от источника энергии выделяют несколько путей ресинтеза АТФ.

Для количественной характеристики различных путей ресинтеза АТФ обычно используются следующие критерии:

а) максимальная мощность, или максимальная скорость – это наибольшее количество АТФ, которое может образоваться в единицу времени за счет данного пути ресинтеза. Измеряется максимальная мощность в калориях или джоулях, исходя из того, что 1 ммоль АТФ (506 мг) соответствует в физиологических условиях примерно 12 кал или 50 Дж (1 кал = 4,18 Дж). Поэтому данный критерий имеет размерность кал/мин×кг мышечной ткани или соответственно Дж/мин×кг мышечной ткани;

б) время развертывания – это минимальное время, необходимое для выхода ресинтеза АТФ на свою наибольшую скорость, т. е. для достижения максимальной мощности. Этот критерий измеряется в единицах времени (с, мин);

в) время сохранения или поддержания максимальной мощности – это наибольшее время функционирования данного пути ресинтеза АТФ с максимальной мощностью. Единицы измерения – с, мин, ч;

г) метаболическая емкость – это общее количество АТФ, которое может образоваться во время мышечной работы за счет данного пути ресинтеза АТФ [4].

В зависимости от потребления кислорода пути ресинтеза делятся на аэробные и анаэробные.

2.1. Аэробный путь ресинтеза АТФ

Аэробный путь ресинтеза АТФ (синонимы: тканевое дыхание, аэробное, или окислительное, фосфорилирование) – это основной, базовый способ образования АТФ, протекающий в митохондриях мышечных клеток. В ходе тканевого дыхания от окисляемого вещества отнимаются два атома водорода (два протона и два электрона) и по дыхательной цепи передаются на молекулярный кислород, доставляемый кровью в мышцы из воздуха, в результате чего возникает вода. За счет энергии, выделяющейся при образовании воды, происходит синтез АТФ из АДФ и фосфорной кислоты. Обычно на каждую образовавшуюся молекулу воды приходится синтез трех молекул АТФ [6].

Чаще всего водород отнимается от промежуточных продуктов цикла трикарбоновых кислот (ЦТК) – цикла Кребса (изолимонная, α -кетоглутаровая, янтарная и яблочная кислоты). Цикл Кребса – это завершающий этап катаболизма, в ходе которого происходит окисление ацетилкофермента А до CO_2 и H_2O . В ходе этого процесса от перечисленных выше кислот отнимается 4 пары атомов водорода и поэтому образуется 12 молекул АТФ при окислении одной молекулы ацетилкофермента А.

Скорость аэробного пути ресинтеза АТФ контролируется содержанием в мышечных клетках АДФ, который является активатором ферментов тканевого дыхания. В состоянии покоя, когда в клетках почти нет АДФ, тканевое дыхание протекает с очень низкой скоростью. При мышечной работе за счет интенсивного использования АТФ происходит образование и накопление АДФ.

Появившийся избыток АДФ ускоряет тканевое дыхание, и оно может достигнуть максимальной интенсивности.

Другим активатором аэробного пути ресинтеза АТФ является CO_2 . Возникающий при физической работе в избытке углекислый газ активирует дыхательный центр мозга, что в итоге приводит к повышению скорости кровообращения и улучшению снабжения мышц кислородом.

Аэробный путь образования АТФ характеризуется следующими критериями.

Максимальная мощность составляет 350–450 кал/мин×кг. По сравнению с анаэробными путями ресинтеза АТФ тканевое дыхание обладает самой низкой величиной максимальной мощности. Это обусловлено тем, что возможности аэробного процесса ограничены доставкой кислорода в митохондрии и их количеством в мышечных клетках. Поэтому за счет аэробного пути ресинтеза АТФ возможно выполнение физических нагрузок только умеренной мощности.

Время разворачивания – 3–4 мин (у хорошо тренированных спортсменов может быть около 1 мин). Такое большое время разворачивания объясняется тем, что для обеспечения максимальной скорости тканевого дыхания необходима перестройка всех систем организма, участвующих в доставке кислорода в митохондрии мышц.

Время работы с максимальной мощностью составляет десятки минут. Как уже указывалось, источниками энергии для аэробного ресинтеза АТФ являются углеводы, жиры и аминокислоты, распад которых завершается циклом Кребса. Причем для этой цели используются не только внутримышечные запасы данных веществ, но и углеводы, жиры, кетоновые тела и аминокислоты, доставляемые кровью в мышцы во время физической работы. В связи с этим данный путь ресинтеза АТФ функционирует с максимальной мощностью в течение такого продолжительного времени.

По сравнению с другими идущими в мышечных клетках процессами ресинтеза АТФ аэробный ресинтез имеет ряд преимуществ. Он отличается высокой экономичностью: в ходе этого процесса идет глубокий распад

окисляемых веществ до конечных продуктов – CO_2 и H_2O и поэтому выделяется большое количество энергии. Так, например, при аэробном окислении мышечного гликогена образуется 39 молекул АТФ в расчете на каждую отщепляемую от гликогена молекулу глюкозы, в то время как при анаэробном распаде этого углевода (гликолиз) синтезируется только 3 молекулы АТФ в расчете на одну молекулу глюкозы.

Другим достоинством этого пути ресинтеза является универсальность в использовании субстратов. В ходе аэробного ресинтеза АТФ окисляются все основные органические вещества организма: жирные кислоты, углеводы, аминокислоты (белки), кетонные тела и др. Еще одним преимуществом этого способа образования АТФ является очень большая продолжительность его работы: практически он функционирует постоянно в течение всей жизни. В покое скорость аэробного ресинтеза АТФ низкая, при физических нагрузках его мощность может стать максимальной.

Однако аэробный способ образования АТФ имеет и ряд недостатков. Так, действие этого способа связано с обязательным потреблением кислорода, доставка которого в мышцы обеспечивается дыхательной и сердечно-сосудистой системами (вместе они обычно обозначаются термином «кардиореспираторная система»). Функциональное состояние кардиореспираторной системы является лимитирующим фактором, ограничивающим продолжительность работы аэробного пути ресинтеза АТФ с максимальной мощностью и величину самой максимальной мощности.

Возможности аэробного пути ограничены еще и тем, что все ферменты тканевого дыхания встроены во внутреннюю мембрану митохондрий в форме дыхательных ансамблей и функционируют только при наличии неповрежденной мембраны. Любые факторы, влияющие на состояние и свойства мембран, нарушают образование АТФ аэробным способом. Например, нарушения окислительного фосфорилирования наблюдаются при ацидозе (повышение кислотности), набухании митохондрий, при развитии в мышечных

клетках процессов свободно-радикального окисления липидов, входящих в состав мембран митохондрий.

Еще одним недостатком аэробного образования АТФ можно считать большое время развертывания (3–4 мин) и небольшую по абсолютной величине максимальную мощность. Поэтому мышечная деятельность, свойственная большинству видов спорта, не может быть полностью обеспечена этим путем ресинтеза АТФ, и мышцы вынуждены дополнительно включать анаэробные способы образования АТФ, имеющие более короткое время развертывания и большую максимальную мощность.

В спортивной практике для оценки аэробного фосфорилирования часто используют три показателя: максимальное потребление кислорода (МПК), потребление O_2 , порог анаэробного обмена (ПАНО) и кислородный приход.

МПК – это максимально возможная скорость потребления (т. е. потребления в единицу времени) кислорода организмом при выполнении физической работы. Этот показатель характеризует максимальную мощность аэробного пути ресинтеза АТФ: чем выше величина МПК, тем больше значение максимальной скорости тканевого дыхания, это обусловлено тем, что практически весь поступающий в организм кислород используется в этом процессе. МПК представляет собой интегральный показатель, зависящий от многих факторов: от функционального состояния кардиореспираторной системы, от содержания в крови гемоглобина, а в мышцах – миоглобина, от количества и размера митохондрий. У нетренированных молодых людей МПК обычно равно 3–4 л/мин, у спортсменов высокого класса, выполняющих аэробные нагрузки (продолжительные нагрузки умеренной мощности, обеспечиваемые тканевым дыханием), МПК – 6–7 л/мин. На практике для исключения влияния на эту величину массы тела МПК рассчитывают на кг массы тела. В этом случае у молодых людей, не занимающихся спортом, МПК равно 40–50 мл/мин×кг, а у хорошо тренированных спортсменов – 80–90 мл/мин×кг.

В спортивной практике МПК также используется для характеристики относительной мощности аэробной работы, которая выражается потреблением

кислорода в процентах от МПК. Например, относительная мощность работы, выполняемой с потреблением кислорода 3 л/мин спортсменом, имеющим МПК, равное 6 л/мин, будет составлять 50 % от уровня МПК.

ПАНО – это минимальная относительная мощность работы, измеренная по потреблению кислорода в процентах по отношению к МПК, при которой начинает включаться гликолитический путь ресинтеза АТФ (концентрация молочной кислоты в крови возрастает до 4 ммоль/л). У нетренированных ПАНО составляет 40–50 % от МПК, а у спортсменов ПАНО может достигать 70 % от МПК. Более высокие величины ПАНО у тренированных объясняются тем, что аэробное фосфорилирование у них дает больше АТФ в единицу времени, и поэтому анаэробный путь образования АТФ – гликолиз, который включается при больших нагрузках.

Кислородный приход – это количество кислорода (сверх дорабочего уровня), использованное во время выполнения данной нагрузки для обеспечения аэробного ресинтеза АТФ. Кислородный приход характеризует вклад тканевого дыхания в энергообеспечение проделанной работы.

Под влиянием систематических тренировок, направленных на развитие аэробной работоспособности, в миоцитах возрастает количество митохондрий, увеличивается их размер, в них становится больше ферментов тканевого дыхания. Одновременно происходит совершенствование кислородтранспортной функции: повышается содержание миоглобина в мышечных клетках и гемоглобина в крови, возрастают функциональные возможности кардиореспираторной системы.

2.2. Анаэробные пути ресинтеза АТФ

Анаэробные пути ресинтеза АТФ (креатинфосфатный, гликолитический) являются дополнительными способами образования АТФ в тех случаях, когда основной путь получения АТФ (аэробный) не может обеспечить мышечную деятельность необходимым количеством энергии. Это бывает на первых минутах любой работы, когда тканевое дыхание еще полностью не

развернулось, а также при выполнении физических нагрузок высокой мощности.

Креатинфосфатный путь ресинтеза АТФ

Эта реакция катализируется ферментом креатинкиназой. В связи с этим данный путь ресинтеза АТФ еще называется креатинкиназным. Креатинфосфатная реакция обратима, но ее равновесие смещено в сторону образования АТФ, и поэтому она начинает осуществляться сразу же, как только в миоцитах появляются первые порции АДФ.

При мышечной работе активность креатинкиназы значительно возрастает за счет активирующего воздействия на нее ионов кальция, концентрация которых в саркоплазме под действием нервного импульса увеличивается почти в тысячу раз.

Другой механизм регуляции креатинфосфатной реакции связан с активирующим воздействием на креатинкиназу креатина, образующегося в ходе данной реакции. За счет этих механизмов активность креатинкиназы в начале мышечной работы резко увеличивается и креатинфосфатная реакция очень быстро достигает максимальной скорости.

Креатинфосфат, обладая большим запасом химической энергии, является веществом непрочным. От него легко может отщепляться фосфорная кислота, в результате чего происходит циклизация остатка креатина, приводящая к образованию креатинина.

Образование креатинина происходит без участия ферментов, спонтанно. Эта реакция необратима. Образовавшийся креатинин в организме не используется и выводится с мочой. Поэтому по выделению креатинина с мочой можно судить о содержании креатинфосфата в мышцах, так как в них находятся основные запасы этого соединения.

Частично запасы креатинфосфата могут восстанавливаться и при мышечной работе умеренной мощности, при которой АТФ синтезируется за счет тканевого дыхания в таком количестве, которого хватает и на обеспечение сократительной функции миоцитов, и на восполнение запасов креатинфосфата.

Поэтому во время выполнения физической работы креатинфосфатная реакция может включаться многократно.

Суммарные запасы АТФ и креатинфосфата часто обозначают термином фосфагены. Образование креатина происходит в печени с использованием трех аминокислот: глицина, метионина и аргинина. В спортивной практике для повышения в мышцах концентрации креатинфосфата используют в качестве пищевых добавок препараты глицина и метионина.

Креатинфосфатный путь ресинтеза АТФ характеризуется следующими величинами принятых количественных критериев:

Максимальная мощность составляет 900–1100 кал/мин×кг, что в три раза выше соответствующего показателя для аэробного ресинтеза. Такая большая величина обусловлена высокой активностью фермента креатинкиназы и, следовательно, очень высокой скоростью креатинфосфатной реакции.

Время разворачивания всего 1–2 с. Как уже указывалось, исходных запасов АТФ в мышечных клетках хватает на обеспечение мышечной деятельности как раз в течение 1–2 с, и к моменту их исчерпания креатинфосфатный путь образования АТФ уже функционирует со своей максимальной скоростью. Такое малое время разворачивания объясняется действием описанных выше механизмов регуляции активности креатинкиназы, позволяющих резко повысить скорость этой реакции.

Время работы с максимальной скоростью всего лишь 8–10 с, что связано с небольшими исходными запасами креатинфосфата в мышцах.

Главными преимуществами креатинфосфатного пути образования АТФ являются очень малое время разворачивания и высокая мощность, что имеет крайне важное значение для скоростно-силовых видов спорта. Главным недостатком этого способа синтеза АТФ, существенно ограничивающим его возможности, является короткое время его функционирования. Время поддержания максимальной скорости всего 8–10 с, к концу 30-й с его скорость снижается вдвое. К концу 3-й мин интенсивной работы креатинфосфатная реакция в мышцах практически прекращается.

Исходя из такой характеристики креатинфосфатного пути ресинтеза АТФ, следует ожидать, что эта реакция окажется главным источником энергии для обеспечения кратковременных упражнений максимальной мощности: бег на короткие дистанции, прыжки, метания, подъем штанги и т. п.

Креатинфосфатная реакция может неоднократно включаться во время выполнения физических нагрузок, что делает возможным быстрое повышение мощности выполняемой работы, развития ускорения на дистанции и финишный рывок.

Биохимическая оценка состояния креатинфосфатного пути ресинтеза АТФ обычно проводится по двум показателям: креатининовому коэффициенту и алактатному кислородному долгу.

Креатининовый коэффициент – это выделение креатинина с мочой за сутки в расчете на 1 кг массы тела. У мужчин выделение креатинина колеблется в пределах 18–32 мг/сутки×кг, а у женщин – 10–25 мг/сутки×кг. Креатининовый коэффициент характеризует запасы креатинфосфата в мышцах, так как между содержанием креатинфосфата и образованием из него креатинина существует линейная зависимость, поскольку это превращение протекает неферментативным путем и является необратимым. Следовательно, с помощью креатининового коэффициента можно оценить потенциальные возможности этого пути образования АТФ, в том числе его метаболическую емкость.

Алактатный кислородный долг – это повышенное (сверх уровня покоя) потребление кислорода в ближайшие 4–5 мин после выполнения кратковременного упражнения максимальной мощности. Этот избыток кислорода требуется для обеспечения высокой скорости тканевого дыхания сразу же после окончания нагрузки для создания в мышечных клетках повышенной концентрации АТФ. В этих условиях происходит фосфорилирование креатина с образованием креатинфосфата:



Таким образом, использование креатинфосфата во время работы приводит к накоплению креатина, превращение которого снова в креатинфосфат требует определенного количества кислорода. Отсюда следует, что алактатный кислородный долг характеризует вклад креатинфосфатного пути ресинтеза АТФ в энергообеспечение выполненной физической нагрузки и дает оценку его метаболической емкости. Представление о мощности этого способа образования АТФ дает показатель, полученный путем деления величины алактатного долга на время выполнения нагрузки.

У квалифицированных спортсменов значение алактатного кислородного долга после нагрузок максимальной мощности обычно составляет 8–10 л.

В результате систематических тренировок, направленных на развитие скоростно-силовых качеств, в мышцах увеличивается концентрация креатинфосфата и повышается активность креатинкиназы, что находит отражение в росте величины алактатного кислородного долга и суточного выделения креатинина.

Гликолитический путь ресинтеза АТФ (гликолиз, лактатный)

Этот путь ресинтеза, так же как и креатинфосфатный, относится к анаэробным способам образования АТФ. Источником энергии, необходимой для ресинтеза АТФ, в данном случае является мышечный гликоген, концентрация которого в саркоплазме колеблется в пределах 0,2–3 %. При анаэробном распаде гликогена от его молекулы под воздействием фермента фосфорилазы поочередно отщепляются концевые остатки глюкозы в форме глюкозо-1-фосфата. Далее молекулы глюкозо-1-фосфата через ряд последовательных стадий (их всего 10) превращаются в молочную кислоту (лактат). В процессе анаэробного распада гликогена до молочной кислоты, называемого гликолизом, образуются промежуточные продукты, содержащие фосфатную группу с макроэргической связью, которая легко переносится на АДФ с образованием АТФ. Гликолизу может также подвергаться глюкоза, поступающая в мышцы из кровяного русла.

Количественные критерии гликолитического пути ресинтеза АТФ:

Максимальная мощность – 750–850 кал/мин×кг, что примерно вдвое выше соответствующего показателя тканевого дыхания. Высокое значение максимальной мощности гликолиза объясняется содержанием в мышечных клетках большого запаса гликогена, наличием механизмов активации ключевых ферментов, приводящих к значительному росту скорости гликолиза, отсутствием потребности в кислороде.

Время разворачивания – 20–30 с. Это обусловлено тем, что все участники гликолиза (гликоген и ферменты) находятся в саркоплазме миоцитов, а также возможностью активации ферментов гликолиза. Фосфорилаза – фермент, запускающий гликолиз, – активируется адреналином, который выделяется в кровь непосредственно перед началом работы. Ионы кальция, концентрация которых в саркоплазме повышается примерно в 1000 раз под воздействием двигательного нервного импульса, также являются мощными активаторами фосфорилазы.

Время работы с максимальной мощностью – 2–3 мин. Существуют две основные причины такой небольшой величины этого критерия. Во-первых, гликолиз протекает с высокой скоростью, что быстро приводит к уменьшению в мышцах концентрации гликогена и, следовательно, к последующему снижению скорости его распада. Во-вторых, в процессе гликолиза образуется лактат, накопление которого приводит к повышению кислотности внутри мышечных клеток. В условиях повышенной кислотности снижается каталитическая активность ферментов, в том числе ферментов гликолиза, что также ведет к уменьшению скорости этого пути ресинтеза АТФ.

Гликолитический способ образования АТФ имеет ряд преимуществ перед аэробным путем. Он быстрее выходит на максимальную мощность (за 20–30 с, в то время как аэробный путь – за 3–4 мин), имеет более высокую величину максимальной мощности (в два раза больше, чем у тканевого дыхания) и не требует участия митохондрий и кислорода.

Однако у этого пути есть и существенные недостатки. Этот процесс малоэкономичен. Распад до лактата одного остатка глюкозы, отщепленного от гликогена, дает только 3 молекулы АТФ, тогда как при аэробном окислении гликогена до воды и углекислого газа образуется 39 молекул АТФ в расчете на один остаток глюкозы. Такая неэкономичность в сочетании с большой скоростью быстро приводит к исчерпанию запасов гликогена.

Другой серьезный недостаток гликолитического пути ресинтеза АТФ – образование и накопление лактата, являющегося конечным продуктом этого процесса. Повышение концентрации лактата в мышечных волокнах вызывает сдвиг рН в кислую сторону, при этом происходят конформационные изменения мышечных белков, приводящие к снижению их функциональной активности. Таким образом, накопление лактата в мышечных клетках существенно нарушает их нормальное функционирование и ведет к развитию утомления.

При снижении интенсивности физической работы, а также в промежутках отдыха во время тренировки образовавшийся лактат может частично выходить из мышечных клеток в лимфу или кровь, что делает возможным повторное включение гликолиза.

В результате систематических тренировок с использованием субмаксимальных нагрузок в мышечных клетках повышается концентрация гликогена и увеличивается активность ферментов гликолиза. У высокотренированных спортсменов наблюдается развитие резистентности (нечувствительности) тканей и крови к снижению рН, и поэтому они сравнительно легко переносят сдвиг водородного показателя крови до 7,0 и ниже.

Аденилаткиназная (миокиназная) реакция

Аденилаткиназная (или миокиназная) реакция протекает в мышечных клетках в условиях значительного накопления в них АДФ, что обычно наблюдается при наступлении утомления. Аденилаткиназная реакция ускоряется ферментом аденилаткиназой (миокиназой), который находится в

саркоплазме миоцитов [2]. В ходе этой реакции одна молекула АДФ передает свою фосфатную группу на другую АДФ, в результате образуется АТФ и АМФ:



Длительное время этот путь образования АТФ рассматривался как аварийный механизм, обеспечивающий синтез АТФ в условиях, когда другие способы получения АТФ становятся неэффективными.

Однако в настоящее время этой реакции отводят не энергетическую, а регуляторную роль. Это связано с тем, что АМФ является мощным активатором ферментов распада углеводов – фосфорилазы и фосфофруктокиназы, участвующих как в анаэробном расщеплении гликогена и глюкозы до молочной кислоты, так и в их аэробном окислении до воды и углекислого газа. Образующийся в результате дезаминирования аммиак может нейтрализовать молочную кислоту и тем самым предупреждать наступление изменений в миоцитах, связанных с ее накоплением (сдвиг рН, изменение конформации белков и др.). При этом общее содержание адениловых нуклеотидов (АТФ, АДФ, АМФ) в клетках не изменяется, так как инозиновая кислота при взаимодействии с одной из аминокислот – аспарагиновой кислотой снова превращается в АМФ.

2.3. Соотношение между путями ресинтеза АТФ при выполнении мышечной работы

При любой мышечной работе функционируют все три пути ресинтеза АТФ, но включаются они последовательно. В первые секунды работы ресинтез АТФ идет за счет креатинфосфатной реакции, затем включается гликолиз и, наконец, по мере продолжения работы на смену гликолизу приходит тканевое дыхание (рис. 3).

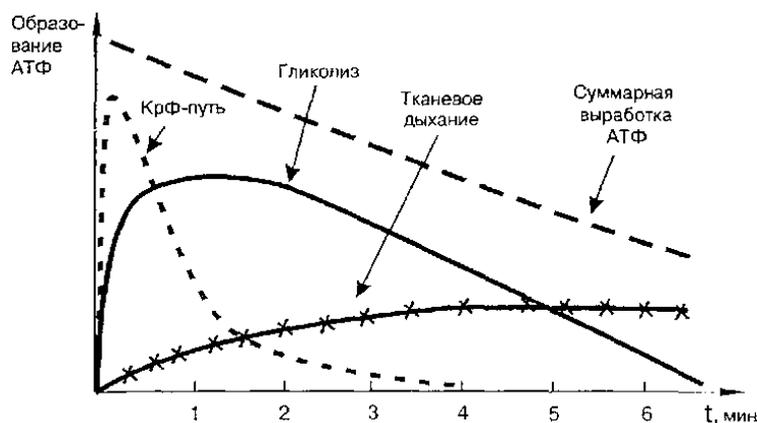


Рис. 3. Включение путей ресинтеза АТФ при выполнении физической работы [4]

Зоны относительной мощности мышечной работы

В настоящее время приняты различные классификации мощности мышечной деятельности. Одна из них – классификация по В.С. Фарфелю, базирующаяся на положении о том, что мощность выполняемой физической нагрузки обусловлена соотношением между тремя основными путями ресинтеза АТФ, функционирующими в мышцах во время работы. Согласно этой классификации, выделяют четыре зоны относительной мощности мышечной работы: максимальной, субмаксимальной, большой и умеренной мощности.

Работа в зоне максимальной мощности может продолжаться в течение 15–20 с. Основной источник АТФ в этих условиях – креатинфосфат. Только в конце работы креатинфосфатная реакция замещается гликолизом. Примером физических упражнений, выполняемых в зоне максимальной мощности, является бег на короткие дистанции, прыжки в длину и высоту, некоторые гимнастические упражнения, подъем штанги и др.

Работа в зоне субмаксимальной мощности имеет продолжительность до 5 мин. Ведущий механизм ресинтеза АТФ – гликолитический. В начале работы, пока гликолиз не достиг максимальной скорости, образование АТФ идет за счет креатинфосфата, а в конце работы гликолиз начинает заменяться тканевым дыханием. Работа в зоне субмаксимальной мощности характеризуется самым высоким кислородным долгом – до 20 л. Примером физических нагрузок в этой зоне мощности является бег на средние дистанции, плавание на короткие

дистанции, велосипедные гонки на треке, бег на коньках на спринтерские дистанции и др.

Работа в зоне большой мощности имеет предельную продолжительность до 30 мин. Для работы в этой зоне характерен примерно одинаковый вклад гликолиза и тканевого дыхания. Креатинфосфатный путь ресинтеза АТФ функционирует только в самом начале работы, и поэтому его доля в общем энергообеспечении данной работы мала. Примером упражнений в этой зоне мощности является бег на 5000 м, бег на коньках на стайерские дистанции, лыжные гонки по пересеченной местности, плавание на средние и длинные дистанции и др.

Работа в зоне умеренной мощности продолжается свыше 30 мин. Энергообеспечение мышечной деятельности происходит преимущественно аэробным путем. Примером работы такой мощности является марафонский бег, легкоатлетический кросс, спортивная ходьба, шоссейные велогонки, лыжные гонки на длинные дистанции, турпоходы [4].

В ациклических и ситуационных видах спорта (единоборства, гимнастические упражнения, спортивные игры) мощность выполняемой работы многократно изменяется. Так, у футболиста бег с умеренной скоростью (зона большой мощности) чередуется с бегом на короткие дистанции со спринтерской скоростью (зона максимальной или субмаксимальной мощности); можно найти и такие отрезки игры, когда мощность работы значительно снижается (зона умеренной мощности). Такие примеры можно привести в отношении многих других видов спорта.

Однако в ряде спортивных дисциплин наблюдается преобладание физических нагрузок, относящихся к какой-то определенной зоне мощности. Например, физическая работа лыжников обычно выполняется с большой или умеренной мощностью, а в тяжелой атлетике используются максимальные и субмаксимальные нагрузки. Поэтому при подготовке спортсменов необходимо применять тренировочные нагрузки, развивающие путь ресинтеза АТФ, являющийся ведущим в энергообеспечении работы в зоне относительной мощности, характерной для данного вида спорта.

ГЛАВА 3. БИОХИМИЯ УТОМЛЕНИЯ

Утомление – это временное снижение работоспособности, вызванное глубокими биохимическими, функциональными и структурными сдвигами, возникающими в ходе выполнения физической работы [5, 1, 7].

Механизмы возникновения утомления многообразны и зависят в первую очередь от характера выполняемой работы, ее интенсивности и продолжительности, а также от уровня подготовленности спортсмена. Но все же в каждом конкретном случае можно выделить ведущие механизмы развития утомления, приводящие к снижению работоспособности. У спортсменов часто в основе развития утомления лежат следующие биохимические и функциональные сдвиги, вызываемые тренировочными и соревновательными нагрузками.

Развитие охранительного (запредельного) торможения

При возникновении в организме во время мышечной работы биохимических и функциональных сдвигов с различных рецепторов (хеморецепторов, осморецепторов, проприорецепторов и др.) в центральную нервную систему по афферентным нервам (чувствительным) поступают соответствующие сигналы. При достижении значительной глубины этих сдвигов в головном мозге формируется охранительное торможение, распространяющееся на двигательные центры, иннервирующие скелетные мышцы. В результате в мотонейронах уменьшается выработка двигательных импульсов, что в итоге приводит к снижению физической работоспособности. Снижение функциональной активности мотонейронов наблюдается также при уменьшении образования в них АТФ.

Субъективно охранительное торможение воспринимается как чувство усталости. В зависимости от распространенности возникших в организме изменений усталость может быть локальной (местной) или общей. При локальной усталости (например, устала рука или нога) биохимические сдвиги обычно обнаруживаются в отдельных группах мышц, а общая усталость

отражает биохимические и физиологические сдвиги, возникающие не только в работающих мышцах, но и в других органах и сопровождающиеся снижением работоспособности кардиореспираторной системы, нарушением функционирования мозга и печени, изменением химического состава крови. Биологическая роль усталости, по-видимому, заключается в том, что это чувство сигнализирует на уровне сознания о возникновении в организме неблагоприятных сдвигов, появляющихся при выполнении физической работы в мышцах и во внутренних органах.

Охранительное торможение и, следовательно, усталость могут быть снижены за счет эмоций. Высокий эмоциональный подъем (например, чувство опасности у животного, высокая мотивация и сила воли у спортсмена) позволяет организму сохранять высокую работоспособность, несмотря на возникновение и нарастание опасных для жизнедеятельности биохимических и функциональных изменений, которые могут привести к тяжелым последствиям.

На развитие охранительного торможения существенное влияние оказывают различные химические соединения, вводимые в организм извне. Одни из них, снимая охранительное торможение, повышают работоспособность организма, другие же, наоборот, вызывают более раннее наступление усталости и тем самым снижают работоспособность.

Для повышения работоспособности издавна используется кофеин, входящий в состав кофе и чая. Это природное соединение действует очень мягко, и повышение работоспособности происходит в пределах физиологических возможностей организма. Подобным образом на организм влияют природные адаптогены (женьшень, элеутерококк, китайский лимонник, пантокрин и др.). Особенно высокое стимулирующее и антиусталостное действие наблюдается у фармакологических препаратов, относящихся к группе стимуляторов центральной нервной системы (фенамин, сиднокарб, сиднофен и др.). Их применение позволяет сохранить высокую работоспособность даже при возникновении глубоких биохимических и физиологических сдвигов, приводящих к функциональному истощению организма, крайне опасному для

жизни. Известны случаи смерти спортсменов вследствие приема таких препаратов. Поэтому стимуляторы центральной нервной системы отнесены к допингам.

Противоположное действие на организм оказывают седативные средства, в том числе препараты брома. При их использовании охранительное торможение в ЦНС и чувство усталости возникают раньше, что приводит к ограничению работоспособности.

Развитие тормозных процессов в ЦНС зависит от возраста. Для детей и пожилых людей характерно раннее наступление усталости и более выраженные явления охранительного торможения.

Нарушение функций вегетативных и регуляторных систем организма

В обеспечении мышечной деятельности, наряду с нервной системой, активнейшее участие принимает кардиореспираторная система, отвечающая за доставку кислорода и энергетических субстратов к работающим мышцам, а также за удаление из них продуктов обмена. Поэтому снижение работоспособности этой системы, естественно, вносит существенный вклад в развитие утомления.

Еще один внутренний орган, способствующий мышечной деятельности – печень. В печени во время мышечной работы протекают такие важные процессы, как гликогенез, β -окисление жирных кислот, кетогенез, глюконеогенез, которые направлены на обеспечение мышц важнейшими источниками энергии: глюкозой и кетоновыми телами. Кроме того, в печени во время мышечной работы осуществляется обезвреживание аммиака путем синтеза мочевины. Поэтому уменьшение функциональной активности этого органа также ведет к снижению работоспособности и развитию утомления. В связи с такой важной ролью печени в обеспечении мышечной деятельности в спортивной практике широкое применение находят гепатопротекторы – фармакологические препараты, улучшающие обменные процессы в печени.

Исчерпание энергетических резервов

Как известно, выполнение физической работы сопровождается большими энергозатратами, и поэтому при мышечной деятельности происходит быстрое истощение энергетических субстратов. В спортивной литературе часто используются термины «энергетические резервы» и «доступные источники энергии». Под этим понимается та часть углеводов, жиров и аминокислот, которая может служить источником энергии при выполнении мышечной работы. Такими источниками энергии можно считать мышечный креатинфосфат, который может быть почти полностью использован при интенсивной работе, большую часть мышечного и печеночного гликогена, часть запасов жира, находящихся в жировых депо, а также аминокислоты, которые начинают окисляться при очень продолжительных нагрузках. Энергетическим резервом можно также считать способность организма поддерживать в крови во время выполнения физической работы необходимый уровень глюкозы.

Исчерпание энергетических субстратов, несомненно, ведет к снижению выработки в организме АТФ и уменьшению баланса АТФ/АДФ. Снижение этого показателя в нервной системе приводит к нарушениям формирования и передачи нервных импульсов, в том числе управляющих скелетной мускулатурой. Как уже отмечалось, такое нарушение в функционировании нервной системы является одним из механизмов развития охранительного торможения. Уменьшение скорости синтеза АТФ в клетках скелетных мышц и является снижением мощности выполняемой работы.

Для поддержания энергетических ресурсов в организме при выполнении продолжительной работы (например, лыжные гонки, марафонский бег, шоссейные велогонки) организуется питание на дистанции, что позволяет спортсменам длительно сохранять интенсивность.

Образование и накопление в организме метаболитов мышечной деятельности

Лактат в больших количествах образуется в организме при выполнении физических нагрузок субмаксимальной мощности, его накопление в мышечных клетках существенно влияет на их функционирование. В условиях повышенной кислотности, вызванной нарастанием концентрации лактата, снижается сократительная способность белков, участвующих в мышечной деятельности, уменьшается каталитическая активность белков-ферментов, в том числе АТФазная активность миозина и активность кальциевой АТФазы (кальциевый насос), изменяются свойства мембранных белков, что приводит к повышению проницаемости биологических мембран. Кроме того, накопление лактата в мышечных клетках ведет к набуханию этих клеток вследствие поступления в них воды, что в итоге уменьшает сократительные возможности мышц. Можно также предположить, что избыток лактата внутри миоцитов связывает часть ионов кальция и тем самым ухудшает управление процессами сокращения и расслабления, что особенно сказывается на скоростных свойствах мышцы.

Повреждение биологических мембран свободнорадикальным окислением

Незначительная часть кислорода, поступающего из воздуха в организм, превращается в активные формы, называемые свободными радикалами. Свободные радикалы кислорода, обладая высокой химической активностью, вызывают окисление белков, липидов и нуклеиновых кислот. Чаще всего окислению подвергается липидный слой биологических мембран. Такое окисление называется перекисным окислением липидов (ПОЛ).

В физиологических условиях свободнорадикальное окисление (СРО) протекает с низкой скоростью, так как ему противостоит защитная антиоксидантная система организма, предупреждающая накопление свободных радикалов кислорода и ограничивающая тем самым скорость вызываемых ими реакций окисления.

Чрезмерная активация ПОЛ оказывает негативное влияние на мышечную деятельность. Так, повышение проницаемости мембран нервных волокон и

саркоплазматического ретикулума миоцитов, вызываемое ПОЛ, затрудняет передачу двигательных нервных импульсов и тем самым снижает сократительные возможности мышцы. Повреждающее воздействие перекисного окисления на цистерны, содержащие ионы кальция, неизбежно приводит к нарушению функции кальциевого насоса и ухудшению релаксационных свойств мышц.

При повреждении митохондриальных мембран снижается эффективность окислительного фосфорилирования (тканевого дыхания), что ведет к уменьшению аэробного энергообеспечения мышечной работы. Повышение проницаемости оболочки мышечных клеток (сарколеммы) может привести к потере мышечными клетками многих важных веществ, которые будут уходить из них в кровь и лимфу [4].

ГЛАВА 4. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСЛЕ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЫ

Во время мышечной работы в организме возникают и нарастают разнообразные биохимические и функциональные сдвиги, приводящие в конечном счете к снижению физической работоспособности и развитию утомления. Устранение этих негативных изменений осуществляется после работы, в процессе восстановления.

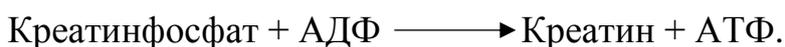
Восстановление является важнейшим периодом в подготовке спортсмена, так как именно в это время в организме закладываются основы роста спортивной работоспособности, развития скоростно-силовых качеств и выносливости. Знание молекулярных механизмов восстановления необходимо тренеру для эффективного управления учебно-тренировочным процессом [4].

Восстановление условно делится на две фазы: срочное и отставленное.

Срочное восстановление

На этом этапе устраняются продукты анаэробного обмена, главными из которых являются креатин и лактат.

Креатин образуется и накапливается в мышечных клетках во время физических нагрузок за счет креатинфосфатной реакции:



Эта реакция обратима. Обязательным условием превращения креатина в креатинфосфат является избыток АТФ, который создается в мышцах после работы, когда уже нет больших энергозатрат на мышечную деятельность. Источником АТФ при восстановлении является тканевое дыхание, протекающее с достаточно высокой скоростью и потребляющее значительное количество кислорода. В качестве окисляемых субстратов чаще используются жирные кислоты.

На устранение креатина требуется не более 5 мин. (Здесь и далее приводятся максимальные сроки восстановительных процессов после тяжелой работы большого объема. После выполнения физических нагрузок небольшого

объема восстановления протекает значительно быстрее.) В течение этого времени наблюдается повышенное потребление кислорода, называемое алактатным кислородным долгом.

Алактатный кислородный долг характеризует вклад креатинфосфатного пути ресинтеза АТФ в энергообеспечение выполненной физической нагрузки.

Наибольшие величины алактатного кислородного долга (8–10 л) наблюдаются после выполнения физических нагрузок в зоне максимальной мощности.

Продукт анаэробного обмена – лактат – образуется и накапливается в результате функционирования гликолитического пути ресинтеза АТФ. Устранение лактата происходит преимущественно во внутренних органах, так как она легко выходит из мышечных клеток в кровяное русло. Лактат, поступающий из крови в миокард, подвергается аэробному окислению и превращается в конечные продукты (CO_2 и H_2O). Данное окисление требует кислорода и сопровождается выделением энергии, которая используется для обеспечения работы сердечной мышцы. Значительная часть лактата из крови попадает в печень и превращается в глюкозу. Этот процесс называется глюконеогенезом. Синтез глюкозы из лактата требует энергии АТФ, источником которого служит тканевое дыхание, протекающее с повышенной скоростью и потребляющее избыточное (по сравнению с покоем) количество кислорода. Другая часть лактата из крови поступает в почки. В почках, так же, как и в миокарде, лактат может окисляться с участием кислорода до углекислого газа и воды, давая этому органу энергию. Часть лактата через почки поступает в состав мочи.

Выделяется из организма лактат также в составе пота. У спортсменов содержание лактата в поте может значительно превышать его уровень в крови. Поэтому дозированное использование после тренировки сауны или бани позволяет ускорить выделение из организма молочной кислоты.

Для устранения избытка лактата обычно требуется не более 1,5–2 ч. В это время наблюдается повышенное (по сравнению с дорабочим уровнем)

потребление кислорода, поскольку все превращения лактата протекают с участием кислорода. Повышенное потребление кислорода в ближайшие 1,5–2 ч после завершения мышечной работы, необходимое для устранения лактата, называется лактатным кислородным долгом.

Лактатный кислородный долг характеризует вклад гликолитического пути ресинтеза АТФ в энергообеспечение проделанной работы. Наибольшие величины лактатного кислородного долга (18–20 л) определяются после физической нагрузки в зоне субмаксимальной мощности.

Частично креатин и лактат могут устраняться и во время тренировки: при снижении интенсивности выполняемых физических упражнений, а также в промежутках отдыха. Такое восстановление называется текущим.

Отставленное восстановление

В этот период в организме восполняются запасы химических соединений и восстанавливаются внутриклеточные структуры, разрушенные или поврежденные во время мышечной работы. Основными биохимическими процессами, включающими отставленное восстановление, являются синтезы гликогена, жиров и белков.

Синтез гликогена протекает в мышцах и в печени, причем в первую очередь накапливается мышечный гликоген. Синтезируется гликоген главным образом из глюкозы, поступающей в организм с пищей. Предельное время восстановления в организме запасов гликогена – 24–36 ч.

Синтез жиров осуществляется в жировой ткани. Вначале образуются глицерин и жирные кислоты, затем они соединяются в молекулу жира. Жир также образуется в стенке тонкой кишки путем ресинтеза из продуктов переваривания пищевого жира. С током лимфы, а затем крови ресинтезированный жир поступает в жировую ткань. Для восполнения запасов жира необходимо не более 36–48 ч.

Синтез белков в основном идет в мышечной ткани. Часть аминокислот (незаменимых) обязательно должна поступать с пищей. Максимальное время синтеза белков – 48–72 ч.

Отставленное восстановление также включает и восстановление (репарацию) поврежденных внутриклеточных структур. Это касается миофибрилл, митохондрий, различных клеточных мембран. По времени это самый длительный процесс; он требует до 72–96 ч. Все биохимические процессы, включающие отставленное восстановление, протекают с потреблением энергии, источником которой является АТФ, возникающий за счет тканевого дыхания. Поэтому для фазы отставленного восстановления характерно несколько повышенное потребление кислорода, но не такое выраженное, как при срочном восстановлении.

Важнейшей особенностью отставленного восстановления является наличие суперкомпенсации (или сверхвосстановления) (рис. 4).

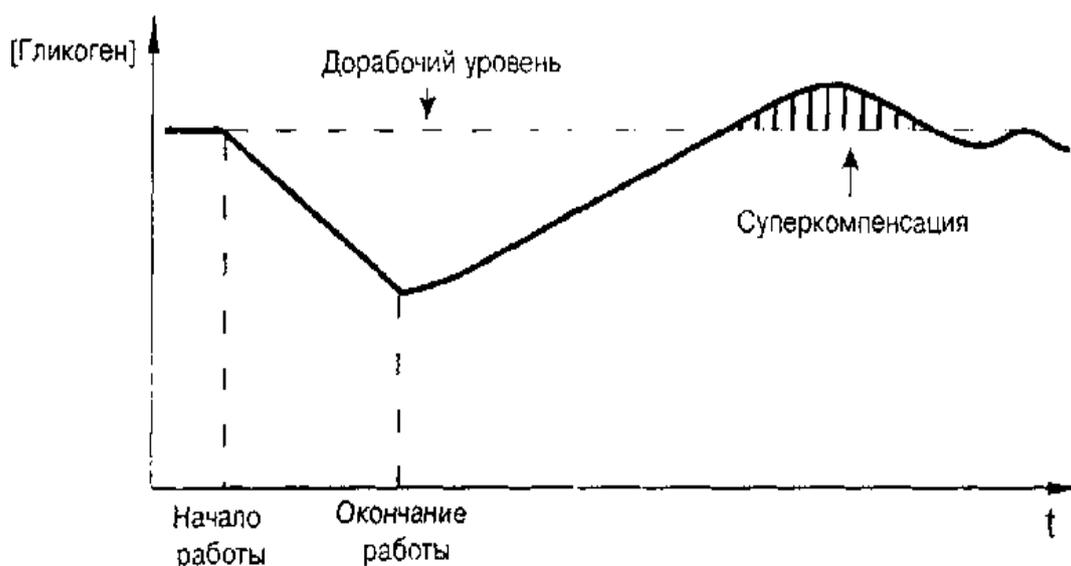


Рис. 4. Суперкомпенсация гликогена при оставленном восстановлении [4]

Основной причиной сверхвосстановления является повышенное содержание в крови гормонов, влияющих на синтетические процессы (инсулин, тестостерон и др.). Время наступления суперкомпенсации существенно зависит от скорости распада веществ при работе: чем выше скорость расщепления какого-либо вещества во время работы, тем быстрее происходит его синтез при восстановлении и раньше наступает суперкомпенсация.

Высота суперкомпенсации (степень превышения исходного уровня) определяется глубиной распада веществ при мышечной работе. Чем глубже распад вещества при работе, тем выраженнее и выше суперкомпенсация. Эта особенность суперкомпенсации заставляет тренера применять на тренировках упражнения большой мощности и продолжительности, чтобы вызвать в организме спортсмена достаточно глубокий распад тех веществ, от содержания которых значительно зависит работоспособность.

Для спортсмена суперкомпенсация имеет исключительно важное значение. На высоте суперкомпенсации существенно возрастают все качества двигательной деятельности (сила, скорость, выносливость), что, несомненно, сказывается на спортивных результатах.

Обязательным условием полноценного восстановления является качественное питание. Питание обеспечивает организм спортсмена источниками энергии и пластическим материалом для синтеза различных веществ (аминокислот, глюкозы, глицерина, жирных кислот). При этом с пищей поступают витамины и минеральные вещества, потребность в которых после физической работы повышена.

ГЛАВА 5. БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СКОРОСТНО-СИЛОВЫХ КАЧЕСТВ И ВЫНОСЛИВОСТИ

К физическим качествам (синонимы: двигательные способности, двигательные возможности) обычно относят силу, быстроту, выносливость, координацию, гибкость. Высокое развитие двигательных возможностей является непременным условием успешной технической и тактической подготовки, наличия морально-волевых качеств у спортсменов.

В данном разделе будут рассмотрены те качества двигательной деятельности, в развитии которых существенная роль принадлежит биохимическим механизмам. К таким двигательным качествам в первую очередь относятся сила, быстрота и выносливость. Поскольку в структурно-морфологических и биоэнергетических основах силы и быстроты много общего, их обычно объединяют в скоростно-силовые качества.

Биохимические основы скоростно-силовых качеств

Быстроту (скоростные возможности) можно определить как комплекс функциональных свойств организма, непосредственно и преимущественно определяющих время двигательного действия. При оценке проявления быстроты учитывается скрытое время двигательной реакции, скорость одиночного мышечного сокращения, частота мышечных сокращений.

Под силой мышц обычно понимается способность преодолевать внешнее сопротивление либо противодействовать ему посредством мышечных напряжений.

Скоростно-силовые качества главным образом зависят от энергообеспечения работающих мышц и от их структурно-морфологических особенностей, в значительной мере предопределенных генетически.

Проявление силы и быстроты характерно для физических нагрузок, выполняемых в зоне максимальной и субмаксимальной мощности. Следовательно, в энергообеспечении скоростно-силовых качеств

преимущественно участвуют анаэробные пути ресинтеза АТФ: креатинфосфатный и гликолитический.

Быстрее всего разворачивается ресинтез АТФ за счет креатинфосфатной реакции. Она достигает своего максимума уже через 1–2 с после начала работы. Максимальная мощность этого способа образования АТФ превышает скорость гликолитического и аэробного путей синтеза АТФ в 1,5 и 3 раза соответственно. Именно за счет креатинфосфатного пути ресинтеза АТФ мышечные нагрузки выполняются с самой большой силой и скоростью. В свою очередь, величина максимальной скорости креатинфосфатной реакции зависит от содержания в мышечных клетках креатинфосфата и активности фермента креатинкиназы.

Увеличить запасы креатинфосфата и активность креатинкиназы возможно за счет использования физических упражнений, приводящих к быстрому истощению в мышцах креатинфосфата.

Для этой цели используются кратковременные (не более 10 с) упражнения, выполняемые с предельной мощностью (например, бег на 50–60 м, прыжки, заплыв на 10–15 м, упражнения на тренажерах, подъем штанги и т. п.).

Хороший эффект дает применение интервального метода тренировки, состоящей из серий таких упражнений. Спортсмену предлагается серия из 4–5 упражнений максимальной мощности продолжительностью 8–10 с. Отдых между упражнениями в каждой серии равен 20–30 с. Продолжительность отдыха между сериями составляет 5–6 мин.

При выполнении каждого упражнения в мышцах происходит снижение запасов креатинфосфата. Во время отдыха между упражнениями (20–30 с) в мышцах включается гликолитический путь ресинтеза АТФ. Но поскольку в этот промежуток времени мышцы не функционируют, то образующиеся молекулы АТФ используются для частичного восстановления запасов креатинфосфата. Достаточно продолжительное время отдыха между сериями позволяет почти полностью восполнить содержание креатинфосфата. Однако

суперкомпенсация не развивается, так как отдых сменяется новой серией упражнений.

В результате этого в мышцах постепенно происходит исчерпание запасов креатинфосфата. Как только будет достигнута критическая величина снижения концентрации креатинфосфата в работающих мышцах, сразу же уменьшится мощность выполняемых нагрузок. Обычно такое состояние достигается после 8–10 серий упражнений.

Во время отдыха после тренировки наблюдается выраженная суперкомпенсация креатинфосфата. Поэтому многократное применение таких тренировок должно привести к повышению в мышцах запасов креатинфосфата, активности креатинкиназы и положительно сказаться на развитии скоростно-силовых качеств спортсмена.

Выполнение скоростных и силовых нагрузок в зоне субмаксимальной мощности (их продолжительность не более 5 мин) обеспечивается энергией в основном за счет гликолитического ресинтеза АТФ. Возможности этого способа получения АТФ обусловлены внутримышечными запасами гликогена, активностью ферментов, участвующих в этом процессе, и резистентностью организма к молочной кислоте, образующейся из гликогена.

Поэтому для развития скоростно-силовых способностей, базирующихся на гликолитическом энергообеспечении, применяются тренировки, отвечающие следующим требованиям.

Во-первых, тренировка должна приводить к резкому снижению содержания гликогена в мышцах с последующей его суперкомпенсацией.

Во-вторых, во время тренировки в мышцах и в крови должна накапливаться молочная кислота для последующего развития резистентности к ней организма.

Для этой цели могут быть использованы методы повторной и интервальной работы. Применяемые упражнения должны вызывать повышение скорости гликолитического пути ресинтеза АТФ и приводить к усиленному образованию и накоплению лактата в работающих мышцах и его выходу в

кровеное русло. Таким условиям соответствует выполнение предельных нагрузок продолжительностью в несколько минут. В случае интервальной тренировки можно использовать серии из 4–5 таких упражнений. Отдых между упражнениями внутри серии – несколько минут. Хороший эффект дает постепенное уменьшение времени отдыха, например, с 3 до 1 мин. Каждое такое упражнение вызывает распад внутримышечного гликогена и образование молочной кислоты. Короткие промежутки отдыха между упражнениями (1–3 мин) недостаточны для устранения лактата. Отдых между сериями упражнений, составляющий 15–20 мин, также недостаточен для полного устранения лактата, и поэтому упражнения в каждой последующей серии выполняются на фоне повышенной концентрации в мышцах молочной кислоты, что способствует формированию резистентности организма к повышенной кислотности.

Промежутки отдыха как между отдельными упражнениями, так и между сериями упражнений, явно недостаточны для восстановления запасов гликогена, и вследствие этого в ходе тренировки в мышцах происходит постепенное уменьшение содержания гликогена до очень низких величин, что является обязательным условием возникновения выраженной суперкомпенсации.

Биохимические основы выносливости

Выносливость – важнейшее двигательное качество, от уровня развития которого во многом зависят достижения атлета. Выносливость можно определить как время работы с заданной мощностью до появления утомления.

В соответствии с характером выполняемой работы выделяют общую и специальную выносливость. Общая выносливость отражает способность спортсмена выполнять неспецифические нагрузки. Такими нагрузками, например, для футболиста могут быть кросс, лыжные гонки, плавание, подвижные игры и т. п., а также выполнение физической работы бытового характера (например, погрузочно-разгрузочные работы, копка огорода, рытье канавы, рубка дров и т. д.). Специальная выносливость характеризует выполнение физических нагрузок, специфических для определенного вида

спорта и требующих технической, тактической и психологической подготовки спортсмена.

Первостепенное значение для проявления выносливости имеет уровень развития молекулярных механизмов образования АТФ – непосредственного источника энергии для обеспечения мышечного сокращения и расслабления.

В зависимости от способа энергообеспечения выполняемой работы выделяют алактатную, лактатную и аэробную выносливость. Нередко используются термины: алактатный, лактатный и аэробный компоненты выносливости.

Алактатная выносливость характеризуется наибольшим временем работы в зоне максимальной мощности. В зависимости от вида нагрузки можно выделить скоростную, скоростно-силовую и силовую алактатную выносливость. Главным источником энергии при мышечной работе максимальной мощности является креатинфосфатная реакция. Поэтому развитие алактатной выносливости обусловлено внутримышечными запасами креатинфосфата. Как уже отмечалось, более богаты креатинфосфатом белые мышечные волокна. В связи с этим большей алактатной выносливостью обладают мышцы с преобладанием белых волокон. Содержание креатинфосфата в мышцах можно существенно повысить, используя специальные упражнения. Принцип построения такой тренировки в интервальном режиме был описан выше, при рассмотрении энергообеспечения скоростно-силовых качеств.

Биохимическая оценка алактатной выносливости может быть дана путем определения суточного выделения с мочой креатинина. Этот показатель характеризует общие запасы в организме креатинфосфата. Рост алактатной выносливости обычно сопровождается увеличением суточного выделения креатинина. Другим критерием, характеризующим развитие алактатной выносливости, является алактатный кислородный долг, измеренный после завершения работы максимальной мощности.

Лактатная (гликолитическая) выносливость характеризует выполнение физических нагрузок в зоне субмаксимальной мощности. Основным источником энергии при работе с такой мощностью служит анаэробный распад мышечного гликогена до молочной кислоты, называемый гликолизом. Возможности гликолитического способа получения АТФ в значительной степени зависят от запасов мышечного гликогена. Чем выше дорабочая концентрация гликогена в мышцах, тем дольше он будет использоваться в гликолизе. Отсюда следует, что мышцы с преобладанием белых, богатых креатинфосфатом и гликогеном волокон обладают также и выраженной лактатной выносливостью. Следующим фактором, определяющим лактатную выносливость, является резистентность мышечных клеток и всего организма в целом к возрастанию кислотности вследствие накопления лактата в мышцах и в крови.

Исходя из такой зависимости тренировки, направленные на развитие лактатной выносливости, строятся так, чтобы обеспечить выполнение двух задач. Во-первых, за счет выполняемых физических нагрузок в мышцах должно увеличиваться содержание гликогена. Во-вторых, тренировочные занятия должны привести к возникновению резистентности к накоплению лактата и повышению кислотности.

С этой целью применяются упражнения, вызывающие, с одной стороны, значительное истощение запасов мышечного гликогена, что является необходимым условием для его последующей суперкомпенсации, а с другой – приводящие к образованию больших количеств молочной кислоты. Таковыми являются физические нагрузки субмаксимальной мощности, выполняемые в интервальном, или повторном, режиме. Тренировка такого типа описана выше, при рассмотрении энергообеспечения скоростно-силовых качеств. В зависимости от характера применяемых нагрузок можно преимущественно развивать силовой или скоростной компонент лактатной выносливости.

Ведущим биохимическим показателем проявления лактатной выносливости при работе является накопление лактата в крови. Определение

концентрации лактата в крови проводят после выполнения физической работы максимальной мощности «до отказа». Высокий уровень концентрации молочной кислоты в крови свидетельствует об использовании для получения энергии во время работы больших количеств мышечного гликогена и развитии резистентности к возрастанию кислотности.

Такую же информацию можно получить, определяя в крови после максимальных нагрузок изменение кислотно-щелочного баланса. В этом случае высокой лактатной выносливостью соответствует значительный сдвиг водородного показателя крови (рН) в кислую сторону. Еще одним показателем развития лактатной выносливости может служить лактатный кислородный долг, измеренный после выполнения работы максимальной мощности «до отказа». Чем выше значение этого показателя, тем больше вклад анаэробного распада гликогена в энергообеспечение проделанной работы. У спортсменов с хорошей физической подготовкой величины лактатного кислородного долга могут достигать 18–20 л.

В спортивной науке очень часто алактатную и лактатную выносливость объединяют в анаэробную.

Аэробная выносливость проявляется при выполнении продолжительных упражнений умеренной мощности, которые главным образом обеспечиваются энергией за счет аэробного окисления (тканевого дыхания). Вклад анаэробного энергообразования ограничивается лишь начальным периодом вработывания. В научной спортивной литературе зачастую под термином «выносливость» подразумевается именно аэробная выносливость.

Аэробная выносливость определяется тремя главнейшими факторами: запасами в организме доступных источников энергии (энергетических субстратов, т.е. тех веществ, которые могут подвергаться окислению), доставкой кислорода в работающие мышцы и развитием в работающих мышцах митохондриального окисления.

В качестве источников энергии обычно используются жирные кислоты, углеводы, кетоновые тела (промежуточные продукты расщепления жирных

кислот) и аминокислоты. Вследствие большой продолжительности аэробной работы эти энергетические субстраты доставляются в мышцы кровью, так как собственные энергетические ресурсы мышечных клеток расходуются в начале работы.

В обеспечении мышц источниками энергии существенная роль принадлежит печени. Именно здесь во время выполнения длительных нагрузок происходит распад гликогена до глюкозы, которая затем с током крови поступает в скелетные мышцы и другие органы, участвующие в обеспечении мышечной деятельности (миокард, мозг, дыхательные мышцы). Другой процесс, протекающий в печени во время работы, – это окисление жирных кислот, сопровождающееся образованием кетоновых тел, которые также являются важными источниками энергии. Кроме того, в печени во время работы протекают и другие химические процессы, способствующие выполнению мышечной работы (глюконеогенез, синтез мочевины и пр.). В связи с такой важной ролью печени в обеспечении физической работы в спортивной практике применяют гепатопротекторы – фармакологические средства, улучшающие функционирование печени и ускоряющие в ней процессы восстановления.

Доставка кислорода в мышцы осуществляется кардиореспираторной системой. Поэтому для проявления аэробной выносливости исключительно важное значение имеет функциональное состояние этой системы, кислородная емкость крови, обусловленная количеством эритроцитов и содержанием в них гемоглобина.

Развитие аэробной выносливости в значительной мере определяется также состоянием нервно-гормональной регуляции. Ведущую роль в этой регуляции выполняют надпочечники, выделяющие в кровь катехоламины и глюкокортикоиды – гормоны, вызывающие перестройку организма, направленную на создание оптимальных условий для мышечной деятельности. Для проявления аэробной выносливости важна способность надпочечников в

течение длительного времени поддерживать в кровяном русле повышенную концентрацию этих гормонов.

Внутримышечными факторами, ответственными за аэробную выносливость, являются размер и количество митохондрий – внутриклеточных структур, в которых при участии кислорода происходит синтез АТФ, а также содержание миоглобина – мышечного белка, обеспечивающего внутри мышечных волокон перенос кислорода к митохондриям. Как уже отмечалось, более высоким содержанием митохондрий и миоглобина характеризуются красные (тонические) мышечные волокна. Отсюда вытекает, что более высокая аэробная выносливость наблюдается в мышцах с преобладанием красных волокон.

Аэробная выносливость в отличие от анаэробной менее специфична. Это обусловлено тем, что ее в большей мере лимитируют различные внесмышечные факторы: функциональное состояние кардиореспираторной системы, печени и нервно-гормональной регуляции, кислородная емкость крови, запасы в организме легкодоступных источников энергии. Поэтому спортсмен, имеющий хороший уровень аэробной выносливости, может проявить ее не только в том виде деятельности, где он прошел специализированную подготовку, но и в других видах аэробной работы. Например, квалифицированный футболист может показать хороший результат в беге на длинные дистанции.

Многофакторность аэробной выносливости требует применения комплекса разнообразных тренировочных средств, поскольку каждое конкретное занятие, вызывая достаточно разностороннее воздействие на организм, все же преимущественно совершенствует одну какую-либо сторону функциональных возможностей. В итоге тренировки, направленные на развитие аэробной выносливости, должны обеспечить повышение работоспособности кардиореспираторной системы, способствовать увеличению количества эритроцитов в крови и содержанию в них гемоглобина, росту концентрации миоглобина в мышечных клетках, лучшему обеспечению работающих органов энергетическими субстратами.

С этой целью применяются различные варианты повторной и интервальной тренировки, а также непрерывная длительная работа равномерной или переменной мощности.

В качестве примера построения тренировочных занятий, направленных на развитие аэробной выносливости, можно привести так называемую циркуляторную интервальную тренировку. Этот метод заключается в чередовании кратковременных упражнений небольшой интенсивности и длительностью от 30 до 90 с с интервалами для отдыха такой же продолжительности. Такая работа стимулирует аэробное энергообеспечение мышечной деятельности и приводит к улучшению показателей кардиореспираторной системы.

Для повышения содержания в мышцах миоглобина может быть использована миоглобиновая интервальная тренировка. Спортсменам предлагаются очень короткие (не более 5–10 с) нагрузки средней интенсивности, чередуемые с такими же короткими промежутками отдыха. Выполняемые кратковременные нагрузки в основном обеспечиваются кислородом, который депонирован в мышечных клетках в форме комплекса с миоглобином. Короткий отдых между упражнениями достаточен для восполнения запасов кислорода.

Для увеличения кислородной емкости крови, а также для повышения концентрации миоглобина хороший эффект дают тренировки в условиях среднегорья.

Особенностью развития аэробной выносливости является возможность использования неспецифических упражнений, и в первую очередь подвижных игр, что позволяет сделать тренировочный процесс разнообразным и интересным.

На практике для оценки аэробной выносливости часто используются два показателя: максимальное потребление кислорода (МПК) и порог анаэробного обмена (ПАНО).

МПК является интегральным показателем, характеризующим в целом аэробное энергообразование в организме. Между значением МПК и аэробной выносливостью существует четкая корреляция: нагрузку одинаковой интенсивности дольше могут выполнять спортсмены с большей величиной МПК. Под влиянием тренировки МПК может возрасти на 40 % и более.

ПАНО также характеризует энергообеспечение мышечной работы за счет аэробного синтеза АТФ. При низких значениях ПАНО в организме слабо развито аэробное энергообеспечение, и поэтому даже при выполнении нагрузок невысокой интенсивности организм вынужден включать анаэробный способ получения АТФ – гликолиз, ведущий, как уже отмечалось, к образованию лактата и росту кислотности. В условиях повышенной кислотности снижается активность ферментов аэробного синтеза АТФ, ухудшается доставка кислорода к митохондриям, что в итоге сокращает продолжительность работы.

Важную информацию для оценки аэробной выносливости можно получить путем определения содержания и соотношения в крови основных энергетических субстратов (глюкоза, жирные кислоты, кетоновые тела) в ходе выполнения продолжительной работы. У нетренированных людей между содержанием в крови глюкозы и продуктов мобилизации жира (жирные кислоты, глицерин, кетоновые тела) существуют реципрокные (как бы конкурентные) отношения. Высокая концентрация глюкозы в крови препятствует мобилизации жира из депо. Поэтому у нетренированных людей повышение содержания в крови жирных кислот, глицерина и кетоновых тел наблюдается только на фоне снижения концентрации глюкозы. У спортсменов, хорошо тренированных в аэробном режиме, мощная мобилизация жира отмечается на фоне не только нормального, но и повышенного содержания глюкозы в крови. Повышенная скорость окисления липидов и кетоновых тел позволяет организму не только сохранить углеводы печени и крови, но и замедлить расходование мышечного гликогена, снижение концентрации которого является одним из факторов развития утомления [4].

ГЛАВА 6. БИОХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА К МЫШЕЧНОЙ РАБОТЕ

В настоящее время адаптация рассматривается как приспособление организма к среде обитания, к условиям его существования. Условия же жизни спортсмена существенно отличаются от тех, что наблюдаются у людей, не занимающихся спортом. Это необходимость соблюдения строгого режима дня, стрессовые состояния во время соревнований, частые разъезды, смена часовых поясов и климатических зон, подчиненность требованиям тренера и, наконец, это необходимость систематически выполнять большие физические нагрузки.

Общепринятым определением такой адаптации является следующее. Адаптация к мышечной работе – это структурно-функциональная перестройка организма, позволяющая спортсмену выполнять физические нагрузки большей мощности и продолжительности, развивать более высокие мышечные усилия по сравнению с нетренированным человеком [5].

Биохимические и физиологические механизмы адаптации к физическим нагрузкам сформировались в ходе длительной эволюции животного мира и зафиксированы в структуре ДНК (в геноме). Поэтому у каждого человека имеются врожденные механизмы адаптации, унаследованные от родителей. Такая врожденная адаптация называется генотипической. Таким образом, организм изначально обладает способностью адаптироваться к выполнению физической нагрузки.

В принципе молекулярные механизмы адаптации одинаковы для любого организма. Однако уровень реализации отдельных адаптационных механизмов характеризуется значительными индивидуальными колебаниями и в существенной мере зависит от соматотипа и типа высшей нервной деятельности каждого индивида.

Адаптационные возможности в течение жизни индивида изменяются: у растущего организма с возрастом они увеличиваются, в зрелом возрасте стабилизируются и по мере старения снижаются. Особенно значительное увеличение адаптационных возможностей происходит при регулярном

выполнении физических упражнений. Под влиянием систематических тренировок адаптационные механизмы совершенствуются и уровень адаптации к мышечной работе значительно возрастает. Такой прирост адаптационных возможностей организма, наблюдаемый в течение его жизни, называется фенотипической адаптацией, которая отражается на геноме.

Структурно-функциональная перестройка организма, обеспечивающая адаптацию к физической работе, включает разнообразные процессы, касающиеся всех уровней организации организма, начиная от химических реакций и кончая высшей нервной деятельностью. Далее будут рассмотрены биохимические процессы, лежащие в основе адаптации спортсмена к тренировочным и соревновательным нагрузкам. Адаптация организма к физическим нагрузкам носит фазный характер и в ней выделяют два этапа (или фазы) – срочная и долговременная адаптация.

6.1. Срочная адаптация

Основой срочной адаптации является структурно-функциональная перестройка, происходящая в организме непосредственно при выполнении физической работы. Целью этого этапа адаптации является создание мышцам оптимальных условий для их функционирования, и прежде всего за счет увеличения их энергоснабжения.

Необходимые биохимические и физиологические сдвиги возникают под воздействием нервно-гормональной регуляции. Ранее отмечалось, что при выполнении мышечных нагрузок повышается тонус симпатического отдела вегетативной нервной системы. Следствием этого является увеличение скорости кровообращения и легочной вентиляции, приводящее к лучшему снабжению мышц и других органов, имеющих отношение к мышечной деятельности (печень, мозг, легкие и др.), кислородом и энергетическими субстратами. Большой вклад в развитие срочной адаптации вносят стрессорные гормоны (катехоламины и глюкокортикоиды).

На клеточном уровне под воздействием нервно-гормональной регуляции увеличивается выработка энергии. В основе этого явления лежит изменение направленности метаболизма в клетках (в первую очередь в миоцитах): значительно ускоряются реакции катаболизма при одновременном снижении скорости анаболических процессов (главным образом синтеза белков). Как известно, в ходе катаболизма выделяется энергия и происходит образование АТФ. Следовательно, повышение скорости катаболизма увеличивает энергообеспечение мышечной работы.

К основным изменениям катаболических процессов, приводящим к усилению энергообеспечения физических нагрузок, можно отнести следующие:

1. Ускорение распада гликогена в печени с образованием свободной глюкозы, ведущее к повышению концентрации глюкозы в крови (рабочая гипергликемия) и увеличению снабжения всех органов этим важнейшим источником энергии.

2. Усиление аэробного и анаэробного окисления мышечного гликогена, обеспечивающее выработку большого количества АТФ. При интенсивных нагрузках гликоген в мышцах преимущественно анаэробно превращается в лактат, а при выполнении продолжительной работы невысокой мощности гликоген аэробно распадается в основном до углекислого газа и воды. Использование мышечного гликогена в качестве источника энергии ускоряется под влиянием адреналина.

3. Повышение скорости тканевого дыхания в митохондриях. Это происходит по двум причинам. Во-первых, увеличивается снабжение митохондрий кислородом; во-вторых, повышается активность ферментов тканевого дыхания вследствие активирующего действия избытка АДФ, возникающего при интенсивном использовании АТФ в мышечных клетках во время физической работы.

4. Увеличение мобилизации жира из жировых депо. Вследствие этого в крови повышается уровень нерасщепленного жира и свободных жирных кислот.

5. Повышение скорости окисления жирных кислот и образования кетонных тел, являющихся важными источниками энергии при выполнении длительной физической работы.

Замедление анаболических процессов затрагивает в первую очередь синтез белков. Как уже было отмечено, синтез белков является энергоемким процессом: на включение в синтезируемый белок только одной аминокислоты требуется не менее трех молекул АТФ. Поэтому торможение во время мышечной работы этого анаболического процесса позволяет мышцам использовать больше АТФ для обеспечения сокращения и расслабления. Снижение скорости синтеза белков во время физической работы вызывается глюкокортикоидами.

Описанные биохимические сдвиги, возникающие при срочной адаптации, качественно одинаковы для любого человека. Однако под влиянием систематических нагрузок, особенно спортивного характера, эти изменения могут быть более глубокими и значительными, что в итоге позволяет тренированному спортсмену выполнять работу большей мощности и продолжительности [4].

6.2. Долговременная (хроническая) адаптация

Этап долговременной адаптации протекает в промежутках отдыха между тренировками и требует много времени. Биологическое назначение долговременной адаптации – создание в организме структурно-функциональных перестроек для лучшей реализации механизмов срочной адаптации, т.е. долговременная адаптация предназначена для подготовки организма к выполнению последующих физических нагрузок в оптимальном режиме.

Можно выделить следующие основные направления долговременной адаптации:

1. Повышение скорости восстановительных процессов. Особенно большое значение для развития долговременной адаптации имеет ускорение

синтеза белков и нуклеиновых кислот. Это приводит к увеличению содержания сократительных белков, белков-ферментов, кислород-транспортирующих белков (гемоглобин и миоглобин). Благодаря повышению содержания в клетках белков-ферментов ускоряется синтез других биологически важных соединений, в частности креатинфосфата, гликогена, липидов. В результате такого воздействия существенно возрастает энергетический потенциал организма.

2. Увеличение содержания внутриклеточных органоидов. В процессе развития адаптации в мышечных клетках становится больше сократительных элементов – миофибрилл, увеличивается размер и количество митохондрий, наблюдается развитие саркоплазматической сети. В конечном счете эти изменения вызывают мышечную гипертрофию.

3. Совершенствование механизмов нервно-гормональной регуляции. При этом возрастают синтетические возможности эндокринных желез, что позволяет при выполнении физических нагрузок дольше поддерживать в крови высокий уровень гормонов, обеспечивающих мышечную деятельность.

4. Развитие резистентности к биохимическим сдвигам, возникающим в организме во время мышечной работы. Прежде всего это касается устойчивости организма к повышению кислотности, вызванному накоплением лактата. Предполагается, что нечувствительность к росту кислотности у адаптированных спортсменов обусловлена образованием у них молекулярных форм белков, сохраняющих свои биологические функции при пониженных значениях pH.

В ходе тренировочного процесса оба этапа адаптации – срочная и долговременная – поочередно повторяются и оказывают друг на друга взаимное влияние. Так, срочная адаптация, проявляющаяся во время физической работы, приводит к возникновению в организме глубоких биохимических и функциональных сдвигов, которые являются необходимыми предпосылками для запуска механизмов долговременной адаптации. В свою очередь, долговременная адаптация, повышая энергетический потенциал организма, увеличивает возможности срочной адаптации. Такое

взаимодействие срочной и долговременной адаптации постепенно ведет к росту работоспособности спортсмена.

В спортивной практике для оценки влияния тренировочного процесса на формирование адаптации к мышечной работе используются три разновидности тренировочного эффекта: срочный, отставленный и кумулятивный.

Срочный тренировочный эффект характеризует срочную адаптацию. По своей сути срочный тренировочный эффект представляет собой биохимические сдвиги в организме спортсмена, вызываемые процессами, составляющими срочную адаптацию. Эти сдвиги фиксируются во время выполнения физической нагрузки и в течение срочного восстановления. По глубине обнаруженных биохимических изменений можно судить о вкладе отдельных способов выработки АТФ в энергообеспечение проделанной работы.

Так, по значениям МПК и ПАНО можно оценить состояние аэробного энергообеспечения. Повышение концентрации лактата, снижение величины рН, отмечаемые в крови после выполнения работы «до отказа» в зоне максимальной мощности, характеризуют возможности гликолитического пути ресинтеза АТФ. Другим показателем состояния гликолиза является лактатный кислородный долг (также измеряется после работы «до отказа» с субмаксимальной мощностью). Величина алактатного кислородного долга, определенного после нагрузки «до отказа» в зоне максимальной мощности, свидетельствует о вкладе креатинфосфатной реакции в энергоснабжение выполненной работы.

Отставленный тренировочный эффект представляет собой биохимические изменения, возникающие в организме спортсмена в ближайшие дни после тренировки, т. е. в период отставленного восстановления. Главным проявлением отставленного тренировочного эффекта является суперкомпенсация веществ, используемых во время физической работы. К ним прежде всего следует отнести мышечные белки, креатинфосфат, гликоген мышц и печени.

Кумулятивный тренировочный эффект отражает биохимические сдвиги, постепенно накапливающиеся в организме спортсмена в процессе длительных тренировок. В частности, кумулятивным эффектом можно считать прирост в ходе длительных тренировок показателей срочного и отставленного эффектов.

Кумулятивный эффект обладает специфичностью, его проявление в большей мере зависит от характера тренировочных нагрузок [4].

ГЛАВА 7. БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПИТАНИЯ. ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ СПОРТСМЕНОВ

Питание является основой жизнедеятельности, обязательным условием нормального роста и развития организма, высокой трудоспособности и профилактики заболеваний. Высокие физические и эмоциональные нагрузки, свойственные современному спорту, предъявляют особые требования к питанию спортсменов. Только в условиях правильно организованного полноценного питания возможно повышение эффективности тренировочного процесса и рост спортивных результатов.

Питание обеспечивает организм:

- 1) источниками энергии (энергетическая функция). Главными пищевыми источниками энергии являются углеводы и жиры;
- 2) строительным материалом для различных синтезов (пластическая функция). Таким материалом в первую очередь являются аминокислоты и полиненасыщенные жирные кислоты (содержащие в молекуле две и более двойных связей);
- 3) витаминами и минеральными веществами;
- 4) водой.

Под питанием обычно понимается поступление пищи в организм, расщепление пищевых веществ (переваривание) и последующее всасывание продуктов переваривания.

Переваривание пищевых веществ происходит путем гидролиза под действием ферментов пищеварительных соков (слюны, желудочного, поджелудочного и кишечного соков). Как уже отмечалось, в процессе переваривания пищевые вещества, в основном высокомолекулярные и для организма чужеродные, под действием пищеварительных ферментов расщепляются и превращаются в итоге в простые соединения, одинаковые для всех живых организмов. Так, например, любые пищевые белки распадаются на аминокислоты 20 видов, точно такие же, как и аминокислоты самого организма. Из углеводов пищи образуется универсальный моносахарид – глюкоза.

Поэтому конечные продукты пищеварения могут вводиться во внутреннюю среду организма и использоваться клетками для разнообразных целей.

Всасывание продуктов переваривания осуществляется клетками кишечного эпителия и является активным процессом, протекающим с использованием энергии АТФ, причем для всасывания продуктов расщепления жира необходимы желчные кислоты, которые вырабатываются в печени и выделяются в полость кишечника в составе желчи.

Пищевой рацион (суточное поступление в организм пищевых веществ) должен содержать все необходимые для организма химические вещества. На основании многовековых традиций и многочисленных научных исследований сформулированы основные требования к количественному и качественному составу пищевого рациона, так называемые принципы рационального питания. Главными из них являются следующие:

1. Энергетическая ценность пищевого рациона по возможности должна соответствовать энергозатратам организма.
2. Пищевой рацион должен быть сбалансирован по важнейшим пищевым компонентам, т.е. должен содержать белки, жиры и углеводы в строго определенной пропорции.
3. Пищевой рацион должен содержать адекватное количество витаминов и минеральных веществ.
4. Пищевой рацион должен содержать «балластные вещества».
5. Должен соблюдаться режим питания [2].

Энергетическая ценность питания оценивается количеством энергии, которое может быть получено при окислении пищевых углеводов, жиров и белков до конечных продуктов (CO_2 , H_2O , NH_3). Поскольку выделяющаяся при окислении энергия часто измеряется в килокалориях, то энергетическую ценность рациона еще называют калорийностью питания.

Калорийность пищевого рациона может быть определена с помощью прибора – калориметра, который регистрирует тепловую энергию, выделяющуюся при сжигании порции пищи. Другой, более простой способ

расчета энергетической ценности питания заключается в использовании специальных таблиц, в которых приводится содержание белков, жиров и углеводов в пищевых продуктах. Исходя из того, что 1 г углеводов и 1 г белков при окислении выделяют примерно 4 ккал, а 1 г жира – около 9 ккал энергии, определяют калорийность рациона в ккал/сутки (для перевода значения калорийности в кДж/сутки полученную величину в ккал/сутки необходимо умножить на 4,18).

Энергозатраты зависят от многих факторов: возраста, массы тела, профессии, климатических условий и особенно от двигательной активности.

В состоянии покоя, натощак (для исключения затрат энергии на мышечную деятельность и процесс пищеварения) организм расходует минимальное количество энергии, необходимое для поддержания основных физиологических функций и анаболических процессов. Эта величина называется основным обменом и составляет у мужчин в среднем 24–28 ккал/сутки×кг массы тела (1600–1800 ккал/сутки), у женщин несколько ниже – 23–26 ккал/сутки×кг (1400–1500 ккал/сутки). У детей величина основного обмена при расчете на 1 кг массы тела примерно в 1,5 раза выше, чем у взрослых. В процессе старения уровень основного обмена уменьшается.

Очевидно, что реальные энергозатраты должны быть выше значения основного обмена. У людей умственного труда суточные затраты энергии составляют 2200–2500 ккал у мужчин и 1800–2200 – у женщин. При тяжелом физическом труде (за счет мышечной работы!) энергозатраты существенно возрастают: у мужчин – до 5000 ккал/сутки, а у женщин – до 4000. У спортсменов энергозатраты в зависимости от вида спорта, а также от периода тренировочного цикла колеблются в диапазоне от 4000 до 7000 ккал/сутки.

Энергозатраты можно определить путем прямой калориметрии, т. е. измерить суточное выделение организмом тепла (как известно, в процессе катаболизма значительная часть освобождающейся энергии выделяется в виде тепла). Однако это весьма сложная процедура. В связи с этим чаще применяются методы непрямой калориметрии, основанные на измерении

потребления кислорода или выделения углекислого газа, поскольку эти показатели характеризуют состояние катаболизма.

К непрямой калориметрии также относится метод суточной пульсометрии, заключающийся в измерении и регистрации частоты сердечных сокращений в течение суток. Этот метод базируется на корреляции между потреблением кислорода за сутки, характеризующим освобождение энергии в процессе катаболизма, и средней величиной пульса. Для подсчета и регистрации пульса применяется портативный прибор – спорттестер, состоящий из прикрепленного к груди испытуемого датчика и приемника, похожего на наручные часы и надеваемого на запястье руки. Датчик фиксирует сердечные сокращения, а в приемнике информация, поступающая из датчика, регистрируется на магнитной дискете.

Косвенно суточные энергозатраты можно установить путем заполнения анкет, в которых испытуемые подробно описывают все, что они делали в течение дня. Затем с помощью специальных таблиц, в которых приведены значения энергозатрат при различных видах трудовой и спортивной деятельности, проводят расчет суточных энергозатрат.

Соответствие энергетической ценности пищевого рациона затратам энергии спортсменом является одним из важнейших условий эффективности тренировочного процесса.

Употребление питания с пониженной калорийностью не только сопровождается расходом всех резервных углеводов и жиров, но и приводит к использованию в качестве источников энергии белков, в первую очередь мышечных. В результате развивается атрофия мышц и анемия, уменьшается масса тела, снижается физическая работоспособность, а у детей наблюдается задержка роста.

При продолжительном поступлении в организм пищевых источников энергии в количествах, превышающих энергозатраты, возникает ожирение, причем в жировых депо откладывается жир, не только поступающий с пищей, но и образующийся из углеводов.

Вследствие этого самым простым способом контроля соответствия калорийности пищевого рациона и суточных энергозатрат является измерение массы тела. При длительном использовании рациона с пониженной калорийностью (по сравнению с энерготратами) наблюдается уменьшение массы тела, а при чрезмерном поступлении в организм источников энергии масса тела увеличивается в основном за счет накопления жира.

Сбалансированность питания касается прежде всего соотношения между содержанием в рационе белков, жиров и углеводов.

Пищевые белки являются поставщиками аминокислот, которые необходимы для синтеза белков и других азотсодержащих соединений организма (например, азотистых оснований нуклеиновых кислот, креатина, адреналина и др.). Особенно важно поступление с пищей незаменимых (эссенциальных) аминокислот, которые не синтезируются в организме. Эти аминокислоты должны регулярно поступать с пищей, так как они не накапливаются в организме. При избыточном поступлении неиспользованные для синтеза белков аминокислоты, в том числе незаменимые, подвергаются распаду.

Суточная потребность в белке зависит от многих факторов (масса тела, возраст, профессия и условия труда, климатические условия и др.) и составляет в среднем для взрослого человека 100–120 г.

Значительное влияние на норму белка в питании оказывают двигательная активность и биологическая ценность пищевых белков. Считается, что потребность в белке при выполнении физической работы увеличивается на 10 г на каждые 500 ккал энергозатрат.

Биологическая ценность белков определяется прежде всего их аминокислотным составом. Пищевые белки должны содержать все незаменимые аминокислоты, причем желательно в том же соотношении, которое характерно для белков человека. Соотношение между незаменимыми аминокислотами в пищевых белках животного происхождения по сравнению с растительными ближе к соотношению в органах и тканях человека. Отсюда

следует, что животные белки обладают большей биологической ценностью, чем растительные.

Считается, что в суточном рационе животных белков должно быть не менее 50 % от содержания всех белков.

Биологическая ценность пищевых белков зависит также от возможности их расщепления протеолитическими ферментами в процессе пищеварения. Плохо перевариваются белки связок, сухожилий, соединительной ткани, некоторые растительные белки.

Наиболее высокой биологической ценностью обладают молочные и яичные белки. Недостаточное поступление пищевых белков (белковое голодание) постепенно ведет к нарушению многих функций организма, уменьшению массы тела, снижению работоспособности. Особенно опасно белковое голодание для растущего организма, так как в основе роста лежит накопление белков.

При избыточном потреблении белков пищеварительные ферменты оказываются не в состоянии их полностью расщепить. Непереваренные белки попадают в толстую кишку и под действием микрофлоры подвергаются там гниению, в ходе которого образуются различные ядовитые вещества. В тканях организма избыток аминокислот распадается с выделением аммиака, что создает дополнительную нагрузку на печень, в которой осуществляется обезвреживание аммиака путем синтеза мочевины. Кроме того, при распаде аминокислот возможно накопление недоокисленных продуктов, в основном органических кислот, что вызывает сдвиг кислотно-щелочного баланса в кислую сторону.

Еще одним обязательным компонентом сбалансированного пищевого рациона являются жиры. Их роль как пищевого продукта многообразна. Жир является важным источником энергии, превосходящим по калорийности белки и углеводы. Так, при окислении 1 г жира выделяется примерно 9 ккал энергии, тогда как при окислении такого же количества белков или углеводов освобождается только около 4 ккал. Однако окисление жиров протекает

исключительно аэробным путем и может обеспечить энергией только умеренные нагрузки. Поэтому роль жира как источника энергии особенно велика при выполнении продолжительной физической работы.

Кроме энергетической функции жиры еще выполняют пластическую функцию, являясь поставщиками полиненасыщенных (эссенциальных) жирных кислот. Такие жирные кислоты содержат в своей молекуле две и более двойных связей и в организме человека не синтезируются.

Полиненасыщенные жирные кислоты (линолевая, линоленовая, арахидоновая и пр.) необходимы для синтеза липоидов клеточных мембран и для образования гормоноподобных веществ (простагландинов), регулирующих в организме тонус гладкой мускулатуры (стенки кровеносных сосудов, трахеи и бронхов, кишечника, матки и т.д.). Полиненасыщенные жирные кислоты обычно входят в состав растительных жиров. Потребность взрослого человека в полиненасыщенных жирных кислотах может быть обеспечена ежедневным поступлением с пищей 20–30 мл растительного масла.

Пищевые жиры также являются поставщиками жирорастворимых витаминов, которые могут накапливаться в жирах. Так, рыбий жир богат витаминами А и D, а растительные жиры содержат витамин Е.

Суточный рацион взрослого человека должен содержать 80–100 г жиров, что составляет 30–35 % от его калорийности. Употребление избыточного количества жира со временем приводит к ожирению.

Пищевые углеводы являются основными источниками энергии, они обеспечивают 55–60 % суточной потребности организма в энергии. Особая роль углеводов как источников энергии обусловлена тем, что они могут расщепляться в организме как аэробно, так и анаэробно, тогда как окисление белков и жиров происходит лишь аэробным способом. Как известно, при анаэробном распаде углеводов энергии в единицу времени выделяется в два раза больше, чем при аэробном окислении любых веществ. В связи с этим физические нагрузки высокой мощности, требующие больших энергозатрат в единицу времени, обеспечиваются в первую очередь углеводами.

Главным пищевым углеводом является крахмал, содержание которого в пищевом рационе может достигать до 80 % от общего количества всех углеводов. Богаты крахмалом крупы, макароны, хлеб, картофель, овощи и другие растительные продукты питания. Кроме крахмала с пищей могут поступать и другие углеводы растительного происхождения: клетчатка (целлюлоза) и сахароза (пищевой сахар). Моносахариды глюкоза (виноградный сахар) и фруктоза (фруктовый сахар) обычно присутствуют в различных ягодах, фруктах и меде. Из углеводов животного происхождения с пищей поступают гликоген и лактоза (молочный сахар). Гликоген содержится в мясе и печени, а лактоза – в молочных продуктах.

Средняя суточная потребность организма в углеводах 400–500 г. При пониженном поступлении углеводов с пищей в организме ускоряется использование жиров и белков в качестве источников энергии. Усиленный распад внутриклеточных белков может привести к снижению их содержания в клетках и появлению симптомов «белкового голодания». Кроме того, окисление белков сопровождается повышенным выделением аммиака. При окислении жиров в качестве промежуточных продуктов образуются кетоновые тела, накопление которых вызывает ацидоз – смещение кислотно-щелочного равновесия в кислую сторону.

Длительное чрезмерное потребление углеводов приводит к нарушениям обмена веществ и возникновению заболеваний. Это связано со способностью углеводов легко преобразовываться в жиры и холестерин. Поэтому при избыточном углеводном питании, особенно на фоне малоподвижного образа жизни, нередко развиваются такие заболевания, как ожирение и атеросклероз.

Согласно рекомендациям ведущих диетологов, соотношение между белками, жирами и углеводами в суточном рационе должно быть 1:1:4, т.е. на каждый грамм белков должен приходиться 1 г жиров и 4 г углеводов.

С продуктами питания должны также поступать витамины в необходимых для организма количествах. Потребность в витаминах прежде всего зависит от массы тела, возраста, двигательной активности. При

недостаточном поступлении витаминов развиваются гиповитаминозы. Обычно гиповитаминозы наблюдаются зимой и весной, когда содержание витаминов в пищевых продуктах уменьшается вследствие их разрушения при хранении. Особенно часто встречается гиповитаминоз С – как следствие появления болезни – цинга. Поэтому в это время года рекомендуется принимать комплексные витаминные препараты.

Избыточное введение водорастворимых витаминов не приводит к их накоплению в организме, так как их избыток сразу же выделяется с мочой. Поэтому поступление в организм водорастворимых витаминов должно быть регулярным. Жирорастворимые витамины при чрезмерном поступлении накапливаются в жировой ткани, вследствие чего могут возникать гипервитаминозы. Описаны случаи гипервитаминозов А, D и К.

Минеральные вещества поступают в составе продуктов питания, как правило, в количествах, соответствующих потребности организма. Исключение составляет лишь поваренная соль (хлористый натрий), которая добавляется к пище в чистом виде. Физиологическая потребность в этой соли 5–6 г/сутки, однако в силу вековых традиций и привычек ее содержание в рационе значительно выше – 15–16 г. К необходимым для жизнедеятельности химическим элементам относятся: натрий, калий, хлор, кальций, магний, фосфор, железо, медь, йод, фтор, марганец, цинк.

Из продуктов питания наиболее богаты минеральными веществами овощи и фрукты. Недостаточное поступление в организм минеральных веществ, а также их избыток в пище приводят к нарушениям обмена веществ и возникновению заболеваний.

Как уже указывалось, пищевой рацион должен содержать балластные вещества, или пищевые волокна. К ним относятся растительные высокомолекулярные углеводы (клетчатка, пектин, лигнин), имеющие прочные молекулы в форме длинных нитей. Эти вещества не гидролизуются пищеварительными ферментами и поэтому без изменений проходят через весь желудочно-кишечный тракт и выделяются из организма в нерасщепленном

виде. Вследствие этого ранее считалось, что такие углеводы не приносят пользы и что они являются как бы лишними компонентами пищевого рациона, т. е. балластом.

В настоящее время установлено, что данные растительные углеводы выполняют в процессе пищеварения по крайней мере две важные функции. Во-первых, двигаясь по пищеварительному тракту и касаясь его стенки, пищевые волокна усиливают перистальтику, т. е. волнообразное сокращение стенки кишки, необходимое для перемещения пищи. Во-вторых, пищевые волокна оказались хорошими сорбентами. На них могут сорбироваться и затем вместе с ними покидать организм различные токсичные вещества как экзогенного (присутствующие в пище), так и эндогенного происхождения (образующиеся в организме в процессе метаболизма и выделяющиеся в полость желудочно-кишечного тракта, а также продукты гниения). В частности, на пищевых волокнах может сорбироваться холестерин. В связи с такой функцией клетчатку и другие пищевые волокна образно называют «дворники организма».

Еще одним условием рационального питания является соблюдение режима поступления пищи в организм. Правильный режим питания необходим для ритмичного и эффективного функционирования пищеварительной системы, для полноценного усвоения пищи и нормального протекания метаболических процессов.

Общепринятым является трех–четырёхразовое питание с интервалами между приемами пищи в 4–5 часов. Кратность приема пищи зависит от объема и калорийности рациона: при возрастании объема и калорийности должна быть увеличена кратность питания, так как при одномоментном поступлении большого количества пищи переваривание и всасывание будут неполными и могут возникнуть различные неприятные ощущения (чувство тяжести, вздутие живота и т.п.), снижение работоспособности.

Частое нарушение режима питания (еда всухомятку, редкие и обильные приемы пищи, беспорядочная еда) может привести к заболеваниям органов пищеварения.

Особенности питания спортсменов

Питание спортсменов имеет ряд особенностей по сравнению с питанием не занимающихся спортом, в том числе людей, выполняющих тяжелую по энерготратам физическую работу.

1. Для спортсменов характерен высокий расход энергии. При занятиях спортом энергозатраты составляют от 4000 до 7000 ккал в сутки. Но в отличие от людей тяжелого физического труда, тоже расходующих много энергии (до 5000 ккал/сутки), интенсивность энергозатрат у спортсменов значительно выше. Рацион спортсмена должен иметь не только необходимую энергетическую ценность, но и содержать повышенное количество углеводов, поскольку, как уже отмечалось, только углеводы могут подвергаться анаэробному распаду и давать много энергии в единицу времени. Жиры и белки окисляются лишь аэробно и при выполнении интенсивных нагрузок используются ограниченно.

Необходимость обогащения рациона спортсменов углеводами еще обусловлена тем, что запасы углеводов в организме (гликоген печени и мышц) ограничены и при работе быстро исчерпываются. В связи с этим практикуется дополнительное введение углеводов во время тренировки или соревнования (например, питание на дистанции у марафонцев, лыжников, велосипедистов).

В период интенсивных тренировок суточная потребность в углеводах может составлять 700-800 г.

2. При выполнении спортивных нагрузок усиливается распад белков, главным образом мышечных. Особенно быстро расщепляются белки при выполнении упражнений силового характера. Для восполнения разрушенных при работе белков необходимо поступление во время восстановления повышенного количества аминокислот. Это делает необходимым использование рациона с повышенным содержанием белков. Наиболее высокая потребность в белках отмечается у тяжелоатлетов и культуристов. У этих спортсменов потребление белков может достигать 200–250 г в сутки.

3. Интенсификация метаболизма в организме спортсмена увеличивает потребность в коферментах, в состав которых входят витамины. В итоге потребление витаминов спортсменами возрастает в 2–3 раза. Обеспечить поступление такого большого количества витаминов только с естественными пищевыми продуктами обычно не удастся. Поэтому в спортивной практике широко используются различные витаминные препараты. Хороший эффект дает применение поливитаминных комплексов с минеральными добавками.

4. При выполнении интенсивных физических нагрузок наблюдается повышенное выделение из организма минеральных веществ в составе пота. Увеличение потребности спортсменов в минералах еще обусловлено высокой скоростью метаболизма, наблюдаемой как во время выполнения мышечной работы, так и при восстановлении. В большей мере спортсмены нуждаются в таких минеральных элементах, как кальций, магний, калий и фосфор.

Наряду с поступлением минеральных веществ с натуральными продуктами питания, они вводятся в организм с минеральной водой и в составе комплексных поливитаминных препаратов (примеры таких препаратов приведены выше). При этом достаточно часто используются фармацевтические препараты: глицерофосфат кальция (содержит Ca и P), фитин (содержит Ca, Mg, P), аспаркам (содержит K и Mg), оротат калия (содержит K), глицерофосфат железа (содержит Fe и P), ферроплекс (содержит Fe и вит. C), фитоферролактол (содержит Ca, Mg, P, Fe) [3].

5. В связи с необходимостью применения пищевого рациона большого объема (за счет повышенного содержания белков и углеводов) у спортсменов существенно возрастает кратность приема пищи. В отдельных видах спорта (тяжелая атлетика, бодибилдинг, гребля и др.) практикуется даже пяти- и шестиразовый прием пищи. Увеличение кратности приема пищи обеспечивает более полноценное усвоение пищевых веществ и их лучшее использование тканями организма.

6. Еще одной особенностью спортивного питания является применение биологически активных пищевых добавок. Необходимость использования

таких продуктов вызвана тем, что высокую потребность спортсменов в белках, углеводах, витаминах и солях очень сложно удовлетворить за счет традиционного питания.

Пищевые добавки представляют собою специализированные продукты питания, вырабатываемые из высококачественного натурального сырья. В отличие от обычных пищевых продуктов они содержат в высоких концентрациях наиболее полноценные и легко усвояемые компоненты пищи, что позволяет их использовать в меньших объемах по сравнению с натуральными продуктами.

Широкое распространение имеют белковые, белково-углеводные и аминокислотные добавки. В состав белковых добавок часто входят молочные и яичные белки. Некоторые пищевые добавки содержат гидролизат белков, т. е. частично расщепленные белки, вследствие чего они быстро усваиваются. Хороший эффект дает применение углеводных добавок, содержащих углеводы разной степени полимеризации (например, глюкозу (моносахарид), сахарозу (дисахарид) и крахмал (полисахарид)). В этом случае происходит плавное поступление глюкозы в кровяное русло без появления выраженной гипергликемии.

Аминокислотные добавки представляют собой смесь из 20 аминокислот или же являются отдельными, наиболее важными аминокислотами. В качестве пищевых добавок часто используются глицин, метионин, лизин, глутаминовая и аспарагиновая кислоты. Белковые, углеводные и аминокислотные добавки могут быть обогащены витаминами и минеральными веществами.

К пищевым добавкам можно отнести также поливитаминные комплексы и препараты, содержащие минеральные вещества.

Таким образом, особенностями питания спортсменов является более высокая калорийность пищевого рациона, повышенное содержание белков и углеводов на фоне лишь незначительного увеличения количества жиров, обогащение рациона витаминами и минералами, использование биологически активных пищевых добавок и увеличение кратности приема пищи.

ГЛАВА 8. БИОХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНА

Биохимические исследования в спортивной практике проводятся либо самостоятельно, либо входят в комплексный медико-биологический контроль подготовки спортсменов высокой квалификации.

Задачи биохимического контроля:

1. Оценка уровня общей и специальной подготовленности спортсмена (необходимо отметить, что биохимические исследования более эффективны для характеристики общей тренированности, т.е. физической подготовки спортсмена. Специальная тренированность в значительной мере зависит от технической, тактической и психологической подготовки спортсмена).

2. Расчет соответствия применяемых тренировочных нагрузок функциональному состоянию спортсмена, выявление перетренированности.

3. Контроль протекания восстановления после тренировки.

4. Оценка эффективности новых методов и средств развития скоростно-силовых качеств, повышения выносливости, ускорения восстановления и т. п.

5. Анализ состояния здоровья спортсмена, обнаружение начальных симптомов заболеваний.

Методы биохимического контроля

Особенностью проведения биохимических исследований в спорте является их сочетание с физической нагрузкой. Это обусловлено тем, что в состоянии покоя биохимические параметры тренированного спортсмена находятся в пределах нормы и не отличаются от аналогичных показателей здорового человека. Однако характер и выраженность возникающих под влиянием физической нагрузки биохимических сдвигов существенно зависят от уровня тренированности и функционального состояния спортсмена. Поэтому при проведении биохимических исследований в спорте пробы для анализа (например, крови или мочи) берут до тестирующей физической нагрузки, во время ее выполнения, после ее завершения и в разные сроки восстановления.

Физические нагрузки, используемые для тестирования, можно разделить на два типа: стандартные и максимальные.

Стандартные физические нагрузки являются строго дозированными. Их параметры определены заранее. При проведении биохимического контроля в группе спортсменов (например, игроков одной команды, членов одной спортивной секции и т.п.) эти нагрузки должны быть доступными для всех испытуемых и хорошо воспроизводимыми.

В качестве таких нагрузок могут использоваться Гарвардский степ-тест, работа на велоэргометре и на других тренажерах, бег на тредбане. При использовании Гарвардского степ-теста (подъем на скамейку высотой 50 см для мужчин и 40 см – для женщин) заранее задаются высота скамейки, частота восхождения (высота скамейки и темп выполнения нагрузки обуславливают мощность выполняемой работы) и время выполнения этого теста.

При выполнении стандартной работы на велоэргометре и других тренажерах задается усилие, с которым производится вращение педалей, или масса отягощения, темп выполнения нагрузки (в случае велотренажера – частота вращения педалей) и продолжительность нагрузки.

При работе на тредбане регламентируются угол наклона дорожки, скорость движения ленты и время, отводимое на выполнения нагрузки.

В качестве стандартной работы можно также использовать циклические упражнения, такие как бег, спортивная ходьба, гребля, плавание, бег на лыжах, езда на велосипеде, бег на коньках и т. п., выполняемые всеми испытуемыми с одинаковой скоростью в течение заранее установленного времени или на одной и той же дистанции.

Из всех описанных стандартных нагрузок все же более предпочтительна работа на велотренажере, так как в этом случае объем выполненной работы может быть определен с большой точностью и мало зависит от массы тела испытуемых.

При оценке уровня тренированности с помощью стандартных нагрузок желательно подбирать группы спортсменов примерно одинаковой

квалификации. Стандартная нагрузка также может быть использована для оценки эффективности тренировок одного спортсмена. С этой целью биохимические исследования данного спортсмена проводятся на разных этапах тренировочного процесса с использованием одних и тех же стандартных нагрузок.

Максимальные, или предельные, физические нагрузки (работа «до отказа») не имеют заранее заданного объема. Они могут выполняться с заданной интенсивностью в течение максимального времени, возможного для каждого испытуемого, или в течение заданного времени, или на определенной дистанции с максимально возможной мощностью. В этих случаях объем нагрузки определяется тренированностью спортсмена.

В качестве максимальных нагрузок можно использовать Гарвардский степ-тест, велоэргометрическую пробу, бег на тредбане, выполняемые «до отказа». «Отказом» следует считать снижение заданного темпа (частоты восхождения на скамейку или вращения педалей, скорости бега на тредбане).

Работой «до отказа» также являются соревновательные нагрузки в ряде видов спорта (например, гимнастические и легкоатлетические упражнения, спортивная ходьба, гребля, плавание, велогонки, бег на лыжах и коньках).

Стандартные и максимальные нагрузки могут быть непрерывными, ступенчатыми и интервальными. Для оценки общей тренированности обычно используются стандартные нагрузки, неспецифические для данного вида спорта (для исключения влияния технической и тактической подготовки обследуемых спортсменов). Примером такой неспецифической нагрузки может быть велоэргометрический тест.

Оценка специальной тренированности проводится чаще всего с применением упражнений, свойственных соответствующей спортивной специализации. Мощность тестирующих нагрузок (стандартных и максимальных) определяется задачами биохимического контроля.

Для оценки анаэробной работоспособности используются нагрузки в зоне максимальной и субмаксимальной мощности. Аэробные возможности

спортсмена определяются с помощью нагрузок в зоне большой и умеренной мощности.

Объекты биохимического контроля

Кровь. Для проведения биохимических исследований обычно используют капиллярную кровь, взятую из пальца или мочки уха. Венозную кровь исследуют в тех случаях, когда необходимо определить много биохимических показателей и для анализа требуется большое количество крови.

Забор крови для биохимического анализа чаще всего производится до выполнения физической нагрузки и после ее завершения (примерно через 5 мин). Иногда для изучения динамики биохимических сдвигов во время выполнения работы, а также для оценки восстановительных процессов взятие крови может проводиться в разные моменты в период работы и восстановления.

Для контроля при анализе крови определяются следующие показатели:

- количество форменных элементов (эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов);
- концентрация гемоглобина;
- водородный показатель (рН);
- щелочной резерв крови;
- концентрация белков плазмы;
- концентрация глюкозы;
- концентрация лактата;
- концентрация жира и жирных кислот;
- концентрация кетоновых тел;
- концентрация мочевины.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что при интерпретации результатов биохимических исследований нужно обязательно учитывать характер выполненной физической работы.

Моча. Для проведения биохимических исследований может быть использована суточная моча (т.е. моча, собранная в течение суток), а также порции мочи, полученные до и после выполнения физических нагрузок.

В суточной моче обычно определяют креатининовый коэффициент – выделение креатинина с мочой за сутки в расчете на 1 кг массы тела. Креатининовый коэффициент характеризует запасы креатинфосфата в мышцах и коррелирует с мышечной массой. Поэтому величина креатининового коэффициента позволяет оценить возможности креатинфосфатного ресинтеза АТФ и степень развития мускулатуры. По этому показателю можно также оценить динамику увеличения запасов креатинфосфата и нарастания мышечной массы у отдельных спортсменов в ходе тренировочного процесса.

Для проведения биохимического анализа также используются порции мочи, взятые до и после нагрузки. В этом случае непосредственно перед выполнением тестирующих нагрузок испытуемые должны полностью опорожнить мочевой пузырь, а сбор мочи после нагрузки осуществляется через 15–30 мин после ее выполнения. Для оценки течения восстановительных процессов могут быть исследованы порции мочи, полученные на следующее утро после выполнения тестирующей нагрузки.

В спортивной практике при проведении анализа мочи, полученной до и после выполнения тестирующих нагрузок, обычно определяются следующие физико-химические и химические показатели:

- объем (диурез);
- плотность (удельный вес);
- кислотность (рН);
- сухой остаток;
- лактат;
- мочевины;
- показатели свободнорадикального окисления;
- патологические компоненты (белок, глюкоза, кетоновые тела).

При оценке обнаруженных изменений в порциях мочи после выполнения тестирующих нагрузок необходимо исходить из их характера. У хорошо подготовленных спортсменов стандартные нагрузки приводят к незначительному изменению физико-химических свойств и химического состава мочи. У малотренированных, наоборот, эти сдвиги весьма существенны. После выполнения максимальных нагрузок более выраженные изменения показателей мочи обнаруживаются у спортсменов высокой квалификации.

Выдыхаемый воздух. Сбор выдыхаемого воздуха производится с применением маски с клапаном, позволяющим направлять выдыхаемый воздух в специальный дыхательный мешок. С помощью приборов – газоанализаторов в выдыхаемом воздухе определяется содержание кислорода и углекислого газа. Сравнивая содержание этих газов в выдыхаемом и во вдыхаемом, т.е. в атмосферном, воздухе можно рассчитать следующие показатели:

- 1) максимальное потребление кислорода (МПК);
- 2) кислородный приход (количество кислорода, использованного во время работы сверх уровня покоя);
- 3) алактатный кислородный долг;
- 4) лактатный кислородный долг;
- 5) дыхательный коэффициент.

Для определения МПК и кислородного прихода выдыхаемый воздух собирают во время выполнения работы, а для расчета кислородного долга – после завершения работы.

Слюна. Анализ слюны проводится сравнительно редко. Для получения слюны испытуемые ополаскивают ротовую полость определенным количеством воды. Чаще всего в слюне определяют величину рН и активность фермента амилазы. По активности этого фермента можно судить об интенсивности углеводного обмена, поскольку существует определенная корреляция между активностью амилазы слюны и активностью тканевых ферментов обмена углеводов.

Биоптат мышечной ткани. Для получения образца мышечной ткани проводится микробиопсия: под местным обезболиванием над исследуемой мышцей делается разрез кожи и специальной иглой берется маленький кусочек мышцы объемом 2–3 мм³. Полученный биоптат подвергается микроскопическому и биохимическому анализу. При микроскопическом исследовании определяется соотношение между типами мышечных волокон, количество миофибрилл и их толщина, количество митохондрий и их размер, развитие саркоплазматической сети в отдельных мышечных клетках.

Биохимическое исследование позволяет определить концентрацию важнейших химических соединений (АТФ, креатинфосфата, гликогена, миоглобина, сократительных белков) и активность ферментов. Микробиопсия может проводиться как в состоянии покоя, так и после выполнения тестирующих нагрузок [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АДФ – аденозиндифосфат

АМФ – аденозинмонофосфат

цАМФ – циклический аденозин-монофосфат

АТФ – аденозинтрифосфат

КоА – ацетилкофермент

КрФ – креатинфосфат

МПК – максимальное потребление кислорода

ПАНО – порог анаэробного обмена

ПОЛ – перекисное окисление липидов

СРО – свободнорадикальное окисление

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Назовите этапы мышечного сокращения.
2. Опишите сущность аэробного пути ресинтеза АТФ.
3. Перечислите и опишите анаэробные пути ресинтеза АТФ.
4. Перечислите преимущества и недостатки аэробного пути ресинтеза АТФ.
5. Перечислите преимущества и недостатки лактатного пути ресинтеза АТФ.
6. Перечислите преимущества и недостатки алактатного пути ресинтеза АТФ.
7. Назовите и опишите зоны интенсивности мышечной работы.
8. Назовите биохимические основы утомления.
9. Назовите основные механизмы восстановления.
10. Назовите виды адаптации организма спортсмена к мышечной работе и охарактеризуйте их.
11. Опишите особенности питания спортсменов разных видов спорта.
12. Назовите задачи биохимического контроля в спорте.
13. Назовите методы биохимического контроля в спорте.

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Волков Н.И., Несен Э.Н., Осипенко А.А., Корсун С.Н.** Биохимия мышечной деятельности. – Киев : Олимпийская литература, 2000, 503 с.
2. **Капилевич Л.В., Дьякова Е.Ю., Кошельская Е.В., Андреев В.И.** Спортивная биохимия с основами спортивной фармакологии : учебное пособие. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 152 с.
3. **Кулиненко Д.О., Кулиненко О.С.** Справочник фармакологии спорта. – М. : Советский спорт, 2012. 464 с.
4. **Михайлов С.С.** Спортивная биохимия : учебник для вузов и колледжей физической культуры. – М. : Советский спорт, 2013. 348 с.
5. **Михайлов С.С.** Биохимия двигательной деятельности : учебник. – М. : Спорт, 2016. 296 с.
6. **Рон Мохан, Майкл Глессон, Пауль Л. Гринхафф** Биохимия мышечной деятельности и физической тренировки. – Киев : Олимпийская литература, 2001. 294 с.
7. **Donald MacLaren, James Morton** Biochemistry for Sport and Exercise Metabolis. Wiley. 2011. 264 p.

Учебное издание

ОСНОВЫ СПОРТИВНОЙ БИОХИМИИ

Учебное пособие

Составитель Николай Александрович Мартынов

Выполнено с использованием программы Microsoft Office Word

Системные требования:

ПК не ниже Pentium III; 256 Мб RAM; не менее 1,5 Гб на винчестере;
Windows XP с пакетом обновления 2 (SP2); Microsoft Office 2003 и выше;
видеокарта с памятью не менее 32 Мб; экран с разрешением не менее 1024 ×
768 точек;
4-скоростной дисковод (CD-ROM) и выше; мышь.

Редактор *Р.П. Попова*

Корректор *Е.М. Насирова*

Верстка и компьютерный макет *Е.Н. Старцева*

Выпускающий редактор *Л.В. Гудырева*

1 Мб. 1 компакт-диск, пластиковый бокс, вкладыш.

Подписано к использованию 16.07.2019 г. Тираж 100 экз. Заказ № 46.

Адрес типографии:

167023. Сыктывкар, ул. Морозова, 25

Издательский центр ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина»

Тел. (8212) 390-472, 390-473.

E-mail: ipo@syktsu.ru

<http://www.syktsu.ru/>