

Содержательный модуль 2

Биохимия мышечной деятельности

Тема 9. Биохимия мышечной ткани

План лекции:

1. Биологическая роль и особенности строения мышечных волокон.
2. Химический состав скелетных мышц.
3. Химизм сокращения мышц.

9.1. Биологическая роль и особенности строения мышечных волокон

Мышечная система – совокупность мышц, объединенных соединительной тканью. Она осуществляет движение организма, поддерживает равновесие тела, обеспечивает дыхательные движения и транспорт пищи, крови внутри организма. По строению мышечной ткани различают *скелетные, сердечную и гладкие мышцы*.

Скелетные мышцы состоят из поперечнополосатых мышечных волокон, прикрепленных в основном к костям. Это произвольно сокращающиеся мышцы. Основными функциями скелетных мышц являются перемещение частей тела друг относительно друга, перемещение тела в пространстве и поддержание позы тела.

Содержание скелетных мышц в организме составляет (в % от массы тела человека) у мужчин – 40 % и более, у женщин – менее 40 %, у детей – около 25 %, у пожилых людей – около 30 %, у спортсменов-тяжелотлетов – до 50–55 %, у культуристов – до 60–70 %.

Гладкие мышцы – это мышцы внутренних органов (системы пищеварения, стенок кровеносных сосудов, кожи, матки). Отличаются от скелетных мышц отсутствием в волокнах миофибрилл и цистерн ретикулула с ионами Ca^{2+} . Под действием нервного импульса ионы Ca^{2+} медленно поступают в саркоплазму из внеклеточной жидкости и также медленно уходят из волокна после прекращения поступления нервного импульса. Поэтому гладкие мышцы медленно сокращаются и медленно расслабляются, сокращение их происходит самопроизвольно.

Сердечная мышца (миокард) по строению занимает промежуточное положение между скелетными и гладкими мышцами. Сокращается непроизвольно, ритмично под контролем ЦНС, некоторых гормонов (например, адреналина) и механизмов саморегуляции.

Двигательная единица – функциональная единица мышцы, которая состоит из мотонейрона спинного мозга, его аксона (двигательного нерва) с многочисленными окончаниями и иннервируемых им мышечных волокон (от нескольких единиц до нескольких тысяч).

Мышечное волокно (миоцит) – сильно вытянутая многоядерная клетка крупного размера длиной от 0,1 до 2–3 см, а в некоторых мышцах длиной более 10 см. Толщина мышечных волокон составляет около 0,1–0,2 мм.

Типы мышечных волокон

В зависимости от строения, химического состава и преобладающих способов ресинтеза АТФ различают три типа мышечных волокон:

- 1) *красные* (медленные, S-волокна, тонические);
- 2) *белые* (быстрые, F-волокна, фазические);
- 3) *промежуточные* (красные, быстрые, переходные).

В таблице 1 показано среднее соотношение красных, белых и промежуточных волокон в скелетных мышцах у спортсменов различных специализаций (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание отдельных типов волокон в мышцах нижних конечностей человека, % (Волков Н.И. и др., 2000 г.)

Спортсмен	Типы мышечных волокон		
	красные	белые	промежуточные
Нетренированный	55	10	35
Бегун-марафонец	80	5	14
Бегун-спринтер	23	28	48

Количество тех или других мышечных волокон генетически предопределено и в процессе тренировки не изменяется. Возможно лишь нарастание толщины отдельных волокон, а также некоторое изменение свойств промежуточных волокон.

Особенности красных волокон

Красные волокна имеют относительно мало миофибрилл, менее развитый ретикулум, большое количество митохондрий, высокое содержание миоглобина. Высокая активность ферментов аэробного окисления. Низкая активность АТФ-азы миозина и креатинфосфокиназы (КФК), низкое содержание креатинфосфата (КФ). Время сокращения около 100–110 мс.

Красные волокна медленно сокращаются, развивают небольшую мощность, но зато могут сокращаться длительное время. По функциональным возможностям наиболее приспособлены к выполнению физических нагрузок аэробного характера на выносливость.

Особенности белых волокон

Белые волокна имеют много миофибрилл и хорошо развитый ретикулум, количество митохондрий меньше, чем в красных волокнах. Высокое содержание КФ, гликогена. Низкое содержание миоглобина. Низкая активность ферментов аэробного окисления (цикла Кребса и дегидрогеназ). Высокая активность АТФ-азы миозина, КФК и ферментов гликолиза. К белым волокнам подходит много нервных окончаний и в них хорошо развиты коллагеновые волокна, которые способствуют быстрому расслаблению белых волокон. Время сокращения около 50 мс.

Белые волокна развивают высокую скорость и силу сокращения, но время их работы ограничено, что связано с быстрым истощением запасов КФ и гликогена. По функциональным возможностям наиболее приспособлены к выполнению физических нагрузок анаэробного характера на силу и быстроту.

Особенности промежуточных волокон

Промежуточные волокна содержат большое количество гликогена, митохондрий, миофибрилл и среднее содержание миоглобина. Обладают высокой активностью АТФ-азы миозина, ферментов гликолиза и митохондрий. По развитию аэробного и анаэробных процессов энергообеспечения занимают промежуточное положение между красными и белыми волокнами. Время сокращения около 50 мс. По функциональным возможностям под влиянием тренировки могут усиливать действие как красных, так и белых волокон.

Строение мышечного волокна

Мышечное волокно окружено сарколеммой и содержит полный спектр органелл (рис. 1).

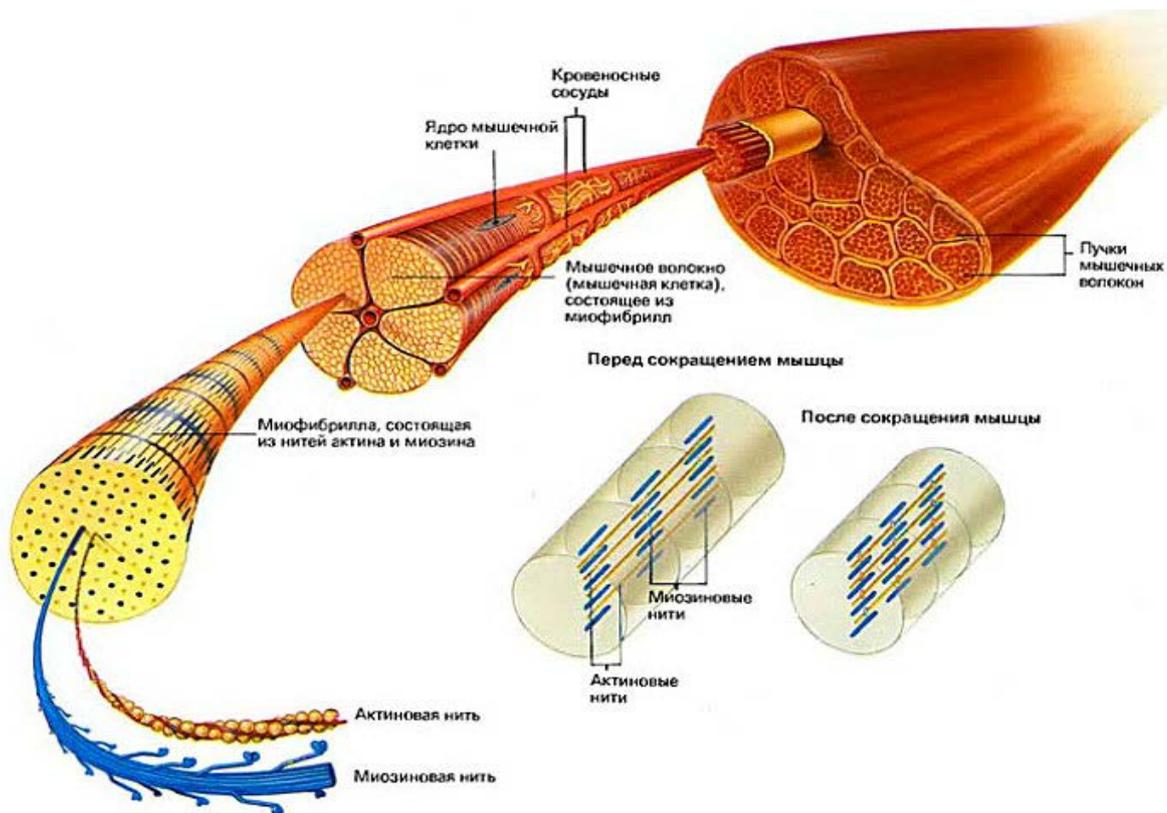


Рисунок 1 – Схема строения мышечного волокна

Сарколемма – поверхностная мембрана мышечного волокна. Представляет собой двухслойную липопротеидную плазматическую мембрану, покрытую сетью коллагеновых волокон, придающих ей прочность

и эластичность. При расслаблении мышцы в сарколемме создаются упругие силы, которые при расслаблении растягивают мышечное волокно в исходное положение.

Сарколемма отгораживает внутреннее содержимое мышечного волокна от омываемой его межклеточной жидкости. Она обладает свойством избирательной проницаемости для различных веществ. Через нее не проходят высокомолекулярные вещества, такие как жирные кислоты, белки, полисахариды, но легко проходят низкомолекулярные вещества (глюкоза, кетоновые тела, молочная кислота, аминокислоты). Перенос веществ через сарколемму может осуществляться активным путем, что позволяет накапливать внутри клетки некоторые вещества и ионы в большей концентрации, чем снаружи.

Сарколемма имеет мембранный потенциал, который в состоянии покоя равен 90–100 мВ и является необходимым условием для возникновения и проведения возбуждения. Мембранный потенциал возникает благодаря наличию избытка положительных зарядов на наружной поверхности мембраны и избытка отрицательных зарядов на ее внутренней поверхности. Избыток положительных зарядов на внешней поверхности мембраны возникает при работе натрий-калиевых-ионных насосов.

Ионные насосы – это белковые молекулы, встроенные в мембрану клетки или органеллы, которые обеспечивают активный перенос ионов через биологическую мембрану в одном направлении против градиента концентрации этих ионов. Для переноса ионов через мембрану используется энергия АТФ. В мышечной ткани особо важную роль играют ионные насосы, обеспечивающие перенос ионов K^+ , Na^+ и Ca^{2+} , которые участвуют в процессах возбуждения и сокращения мышечного волокна. В результате деятельности ионных насосов неравновесная концентрация определенных ионов может различаться по обе стороны мембраны на несколько порядков.

Натрий-калиевый ионный насос – расположен в сарколемме и обеспечивает в покое избирательный перенос ионов Na^+ из саркоплазмы на наружную поверхность сарколеммы в межклеточную жидкость и ионов K^+ из межклеточной жидкости на внутреннюю поверхность сарколеммы, в саркоплазму. На три иона Na^+ , выкачиваемых из клетки, внутрь клетки закачивается два иона K^+ , таким образом, выкачивается больше положительных зарядов, чем поступает внутрь клетки. Благодаря деятельности натрий-калиевых ионных насосов на внешней поверхности сарколеммы преобладают ионы Na^+ и положительные заряды, а на внутренней поверхности – ионы K^+ и большое количество органических анионов, которые приводят к возникновению отрицательного заряда на внутренней поверхности сарколеммы.

К сарколемме подходят окончания двигательных нейронов. Место контакта нервного окончания с сарколеммой называется *нервно-мышечный синапс*. В нервных окончаниях образуется медиатор *ацетилхолин* – посредник при передаче нервного импульса на сарколемму.

Саркоплазматический ретикулум – внутриклеточная мембранная система взаимосвязанных уплощенных пузырьков и канальцев (цистерн), которая окружает саркомеры миофибрилл. На внутренней мембране саркоплазматического ретикулума расположены белки, способные связывать ионы Ca^{2+} . Кальциевый ионный насос, расположенный в мембранах саркоплазматического ретикулума, в покое переносит ионы Ca^{2+} из саркоплазмы внутрь ретикулума. В результате концентрация ионов Ca^{2+} в саркоплазматическом ретикулуме может достигать 10^{-3} моль·л⁻¹, тогда как в саркоплазме она намного ниже – около 10^{-7} моль/л. Под воздействием нервного импульса саркоплазматический ретикулум выбрасывает ионы Ca^{2+} в саркоплазму, а после прекращения его действия поглощает ионы Ca^{2+} .

Саркоплазма – внутриклеточная жидкость, заполняющая внутреннее пространство мышечного волокна, омывающая миофибриллы, ядра и различные органоиды клетки. Содержит органические и минеральные вещества, необходимые для жизнедеятельности клетки.

Отличительной особенностью мышечных клеток является наличие *миофибрилл – сократительных элементов*. Они занимают 80 % объема мышечного волокна. Располагаются внутри вдоль оси волокна и соединяют полюса клетки. Благодаря миофибриллам мышечные волокна способны укорачиваться. Количество миофибрилл достигает нескольких тысяч в одном волокне. В нетренированных мышцах они расположены рассеяно (диффузно), а в тренированных – сгруппированы в пучки, называемые на поперечных срезах волокна *полями Конгейма*. В пучках миофибриллы сокращаются синхронно.

Миофибриллы построены из большого числа мышечных нитей протофибрилл (филаментов). *Протофибриллы* – это миофибриллярные белковые нити двух типов – *толстые (миозиновые)* и *тонкие (актиновые)*, которые, поочередно чередуясь, образуют миофибриллу. Расположены миофибриллярные нити так, что концы пучков тонких нитей заходят в промежутки между концами пучков толстых нитей. При сокращении миофибриллы каждая тонкая нить может вступать в контакт с тремя толстыми, а одна толстая нить – с шестью тонкими нитями. В одной миофибрилле содержится в среднем 2 500 нитей. Тонкие нити пересечены мембранами – Z-линиями.

Саркомер – участок миофибриллы между соседними Z-линиями, это наименьшая структурная сократительная единица миофибриллы. Каждая миофибрилла состоит из нескольких сотен саркомеров (до 1 000) (рис. 3).

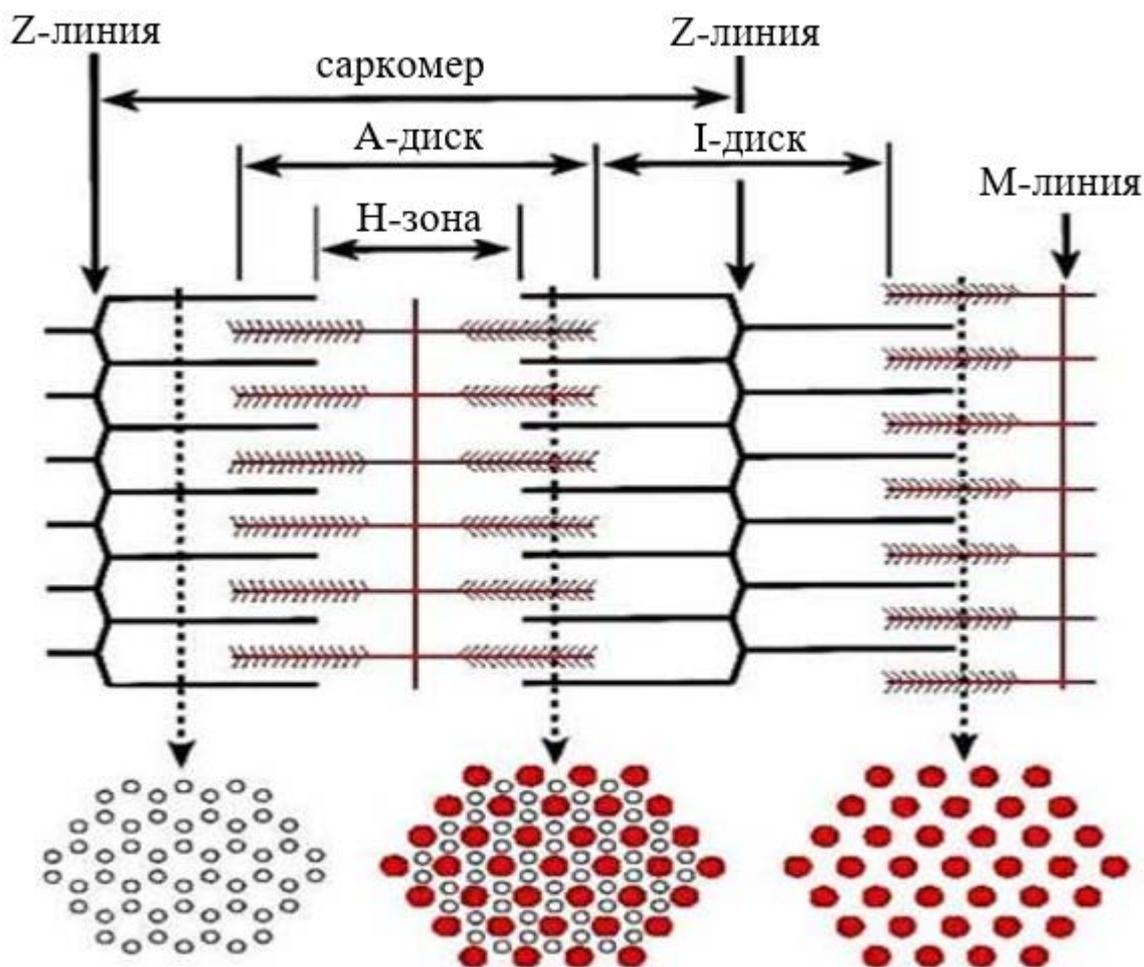


Рисунок 3 – Схема строения миофибриллы

Толстые нити состоят из белка миозина. Это простой белок, состоящий из двух полипептидных цепей, образующих двойную спираль. На одном конце эти цепи расходятся и образуют шаровидное образование – *головку* миозина. Остальная часть молекулы называется *хвостом*. В составе толстой нити 300 молекул миозина переплетаются своими хвостами, а их головки выступают из толстой нити наружу.

На головках миозина расположен активный центр фермента АТФ-азы. Посредством ионов Mg^{2+} миозин присоединяет молекулы АТФ и АДФ и взаимодействует с молекулами актина тонких нитей.

Содержание миозина составляет около 55 % от общего количества мышечных белков.

Тонкие нити состоят из трех основных белков: *актина*, *тропонина* и *тропомиозина*.

Актин – простой белок, составляющий основу тонкой нити. Образует двойную спираль, содержащую около 300 молекул актина. Доля этого белка составляет 25 % от общего количества мышечных белков.

Тропомиозин – белок, состоящий из двух полипептидных цепей, которые обвивают актиновые нити.

Тропонин – белок, присоединенный к тропомиозину и фиксирующий его положение на актиновых нитях. При этом блокируется взаимодействие головок миозина с молекулами актина.

9.2. Химический состав скелетных мышц

Вода составляет 72–80 % массы мышцы, белки – 20 %; липиды – 1–1,5 %; углеводы (гликоген) – 0,3–3 %; минеральные вещества – 1–1,5 %.

Среди белков мышц можно выделить:

1. *Белки саркоплазмы* (миоглобин, ферменты) – 30 %. *Миоглобин* (хромопротеид), по структуре и функциям сходный с гемоглобином крови и обладающий способностью связывать кислород в несколько большей степени, чем гемоглобин.

2. *Сократительные белки миофибрилл* – 40 % (миозин, актин, тропонин, тропомиозин).

3. *Миостромины* – 20 %. Коллаген и эластин – простые белки, нерастворимые в воде, механически прочные. Коллагены отличаются высокой механической прочностью, но не способны растягиваться, а эластин отличается упругостью, способен растягиваться в несколько раз и возвращаться к исходной длине при снятии нагрузки. Эти белки входят в состав сарколеммы и Z-линий миофибрилл. Они участвуют в расслаблении мышечных волокон.

4. *Белки рибосом, митохондрий, хромосом* – 10 %.

В состав мышц наряду с белками входят и другие вещества, среди которых азотсодержащие, безазотистые, минеральные вещества:

– *азотсодержащие вещества мышц*: АТФ (содержание 4,5–5,0 ммоль/кг; 0,25–0,4 %).

– *креатинфосфат* (16–18 ммоль/кг), аминокислоты, мочевина.

– *безазотистые вещества мышц*: гликоген, молочная кислота, ПВК, липиды, жирные кислоты, глицерин.

9.3. Химизм сокращения мышц

При сокращении мышечного волокна выделяют четыре функциональных состояния: 1) покой, 2) возбуждение, 3) сокращение, 4) расслабление.

Мышечное волокно в состоянии покоя

Внешняя сторона сарколеммы заряжена положительно ионами Na^+ , а внутренняя – отрицательно ионами кислотных остатков органических кислот и белков. Это создает разность потенциалов, называемую потенциалом покоя (90–100 мВ).

На головках миозина расположены молекулы АТФ с отрицательным зарядом (ATP^{2-}) и активный центр фермента АТФ-азы, также заряженный отрицательно. Активные центры актина блокированы отрицательно заряженным комплексом тропомиозина с тропопином. Таким образом, в

состоянии покоя невозможен контакт толстых и тонких нитей и освобождение энергии АТФ.

Мышечное волокно в состоянии возбуждения

Под влиянием нервного импульса выделяется ацетилхолин в нервно-мышечном синапсе, что изменяет проницаемость сарколеммы для ионов Na^+ и они проникают в саркоплазму волокна. Оставшиеся снаружи ионы Cl^- создают отрицательный заряд сарколеммы. Так происходит деполяризация сарколеммы и возникает потенциал действия.

Через T-систему возбуждение быстро распространяется на все мышечное волокно. Затем проницаемость сарколеммы для ионов Na^+ снижается, а для ионов K^+ увеличивается, они выходят из саркоплазмы наружу в количестве, равном числу поступивших ионов Na^+ . Ионы K^+ нейтрализуют заряд ионов Cl^- и начинает действовать калий-натриевый насос, т. е. активно с затратой энергии АТФ выкачиваются ионы Na^+ из волокна и нагнетаются ионы K^+ в волокно. Достигается исходное распределение ионов. При этом внешняя сторона сарколеммы снова заряжается положительно, а внутренняя – отрицательно.

Мышечное волокно в состоянии сокращения

Вслед за возникновением потенциала действия из саркоплазматического ретикулума освобождаются ионы Ca^{2+} , которые перемещаются к миофибриллам, присоединяются к тропонину. При этом связь между тропонином, тропомиозином и актином разрывается, тропомиозин поворачивается, открывая активный центр актина. В этом месте к актину присоединяется головка миозина и образуется комплекс актомиозин в виде поперечной *спайки*. Возникновение контакта продвигает тонкую нить на один «шаг». Затем эта связь нарушается и возникает новая между следующей головкой миозина и актином. Снова происходит «шаг» тонкой нити в сторону от диска I к зоне H и т. д. При этом образование каждой спайки сопровождается затратой энергии АТФ. Освобождение энергии АТФ становится возможным благодаря ионам Ca^{2+} , которые отнимают отрицательные заряды с ATP^{2-} и с активного центра фермента АТФ-азы. При сокращении миофибрилл тонкие нити скользят вдоль толстых и саркомеры укорачиваются.

Расслабление мышечного волокна:

Наступает при прекращении поступления новых двигательных импульсов. Ацетилхолин разрушается ферментом сарколеммы *холинэстеразой*. На мембранах восстанавливается исходное распределение ионов Na^+ и K^+ . Ионы Ca^{2+} активно, т. е. с затратой энергии АТФ, возвращаются в ретикулум. Тропонин и тропомиозин закрывают активные центры актина. Тонкие нити извлекаются из пространства между толстыми нитями диска A. Зона H и диск I приобретают первоначальную длину. Линии Z отделяются друг от друга на исходное расстояние.

В процессе расслабления участвуют белки миостромины (коллагены и эластины).

Одиночный двигательный импульс вызывает одиночное сокращение, а длительное напряжение мышцы требует быстро следующих друг за другом двигательных импульсов. При поступлении новых импульсов реакции с 5 по 10 повторяются многократно, так как ионы Ca^{2+} не возвращаются в саркоплазматический ретикулум и поддерживают активное состояние миофибрилл.

Тема 10. Энергетика мышечной деятельности

План лекции:

1. Роль АТФ при сократительной деятельности мышц.
2. Показатели кинетики процессов ресинтеза АТФ.
3. Биохимическая характеристика аэробных и анаэробных процессов ресинтеза АТФ. Их роль при мышечной деятельности.

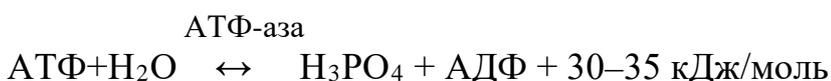
10.1. Роль АТФ при сократительной деятельности мышц

Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) – макроэргическое соединение, молекула которого состоит из аденина (азотистого основания), рибозы (углевода) и трех остатков фосфорной кислоты. Между двумя из них находятся макроэргические связи (~):

аденин-рибоза-фосфат~фосфат~фосфат

Содержание АТФ в скелетных мышцах составляет 2,5–5,0 Ммоль/кг мышц, или 0,25–0,4 % и под влиянием спортивных тренировок практически не изменяется.

При гидролизе АТФ распадается при участии фермента АТФ-азы:



Критический уровень АТФ в мышцах – это наименьшая концентрация АТФ, при которой мышечные волокна еще способны сокращаться. При снижении уровня АТФ до 2,0–2,5 ммоль/кг в мышечных волокнах угнетается деятельность Ca^{2+} -ионного насоса и сокращения становятся невозможными.

Максимально возможное снижение количества АТФ в мышцах при мышечной деятельности составляет у нетренированных людей до 20 %, у спортсменов – до 40–50 % от исходного уровня в состоянии покоя.

Роль энергии АТФ при мышечной деятельности заключается в следующем:

1. Поддерживает распределение ионов Na^+ и K^+ на наружной и внутренней стороне сарколеммы в покое, что обеспечивает необходимый биопотенциал на мембране и способствует восприятию возбуждения при поступлении нервного импульса.

2. Осуществляет активный перенос Ca^{2+} в саркоплазматический ретикулум, что обеспечивает низкую концентрацию этих ионов в саркоплазме (10^{-6} – 10^{-9} моль) и высокую концентрацию их в ретинкуле (10^{-3} моль).

3. Обеспечивает процесс скольжения миофибриллярных нитей при сокращении мышц.

4. Осуществляет деятельность Na^+ , K^+ , Ca^{2+} -ионных насосов при расслаблении мышечного волокна, что восстанавливает исходные концентрации этих ионов на сарколемме, в саркоплазме и ретикулууме.

5. Используется для восстановления энергетического потенциала мышц, устранения недоокисленных метоболитов, нормализации процессов ассимиляции и диссимиляции во время отдыха после сокращения мышц.

Ресинтез АТФ – это восстановление АТФ из АДФ за счет других макроэнергетических веществ или энергии, освобождаемой в митохондриях в результате аэробного окисления веществ.

10.2. Показатели кинетики процессов ресинтеза АТФ

Показатели кинетики процессов ресинтеза АТФ – это количественные критерии, характеризующие процессы ресинтеза АТФ. К ним относятся: максимальная мощность, метаболическая емкость, метаболическая эффективность и быстрота разворачивания процесса.

Максимальная мощность процесса – это наибольшее количество энергии АТФ, ресинтезируемой за единицу времени в расчете на кг мышц.

Метаболическая емкость процесса – это общее количество энергии АТФ, освобожденной за один цикл процесса.

Метаболическая эффективность процесса – это отношение количества энергии, накапливаемой в макроэнергетических связях АТФ, к общему количеству освобожденной энергии в данном процессе.

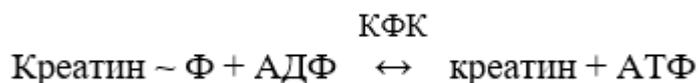
Быстрота разворачивания процесса – это время, необходимое для достижения максимальной скорости ресинтеза АТФ в данном процессе.

Таблица 2 – Величина показателей кинетики процессов ресинтеза АТФ

Показатели	КФК-реакция	Гликолиз	Аэробное окисление углеводов
Максимальная мощность, кДж/кг/мин	3,8	2,5	1,8
Быстрота разворачивания, с	1,2	30–50	60–90
Максимальная емкость, моль АТФ	1	2–3	38
Метаболическая эффективность, %	80	35–50	55–60

10.3. Биохимическая характеристика аэробных и анаэробных процессов ресинтеза АТФ. Их роль при мышечной деятельности

Креатинфосфокиназная реакция (КФК-реакция) – один из путей анаэробного ресинтеза АТФ, протекающий по схеме:



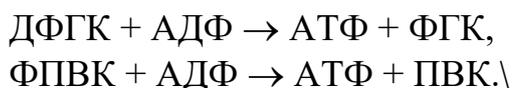
Это самый быстрый, самый мощный и наиболее эффективный процесс ресинтеза АТФ (табл. 2). Однако использование его при мышечной деятельности ограничено лишь кратковременными нагрузками (бег на 100 м, плавание на короткие дистанции, прыжки, метания, тяжелоатлетические упражнения и т. п.), так как запасы КФ в мышцах составляют примерно лишь 14–18 ммоль/кг. Через 5 секунд работы содержание КФ снижается на 30–35 %, а через 15-й секунд – наполовину. После этого скорость КФК-реакции резко снижается. Недостатком КФК-реакции является и высокая чувствительность фермента КФК к снижению рН среды, что возможно при значительном накоплении молочной кислоты во время интенсивных анаэробных нагрузок. Активаторами этого фермента являются ионы Ca^{2+} и креатин.

Запасы КФ в скелетных мышцах увеличиваются в процессе адаптации организма к скоростным и силовым физическим нагрузкам в 1,5–2 раза.

В практике спорта используют прием препаратов аминокислот глицина и метионина, которые участвуют в синтезе КФ.

КФК-реакция является основой развития качеств *силы и быстроты*.

Гликолитический ресинтез АТФ – это анаэробный процесс ресинтеза АТФ за счет макроэргических веществ, образующихся при бескислородном окислении глюкозы или гликогена:



Это основной процесс ресинтеза АТФ при физических нагрузках продолжительностью от 20–30 секунд до 2,0–2,5 минут субмаксимальной интенсивности (бег на средние дистанции, плавание на 100 и 200 м, велогонки на треке, длительные ускорения по ходу упражнения). Преимущества этого ресинтеза АТФ перед аэробным процессом состоят в том, что у него меньше быстрота развертывания, более высокая метаболическая мощность, и он не требует участия митохондрий и наличия кислорода.

Гликолитический ресинтез АТФ является основой развития качеств *быстроты и скоростной выносливости*.

Максимальная интенсивность работы за счет гликолиза может удерживаться 40–60 с. Однако гликолиз малоэкономичен, так как дает в

19 раз меньше энергии, чем аэробный ресинтез АТФ, использует только углеводы как источник энергии и сопровождается накоплением молочной кислоты, что снижает рН среды (до 7,0, иногда до 6,8), отрицательно влияет на белки мышц, осмотическое давление в мышечных волокнах. Это вызывает приток воды из внеклеточной жидкости, набухание волокон и сдавливание нервных окончаний, появление боли в мышцах.

Активаторами ферментов гликолиза являются адреналин, ионы Ca^{2+} , АДФ и АМФ.

Аэробный ресинтез АТФ – это процесс окислительного фосфорилирования, при котором энергия транспорта протонов и электронов водорода в дыхательной цепи митохондрий накапливается в молекулах АТФ.

Аэробный ресинтез АТФ характеризуется наибольшей метаболической емкостью, так как в нем используются внутри- и внемышечные источники энергии (углеводы, липиды, белки) и продукты их распада (жирные кислоты, кетоновые тела, аминокислоты, глицерин, молочная кислота). Этот ресинтез АТФ отличается самой большой продолжительностью работы: он функционирует постоянно в течение всей жизни человека. В состоянии покоя скорость аэробного ресинтеза низкая, а при физических нагрузках его мощность может стать максимальной.

Преимуществом аэробного ресинтеза АТФ является и высокая экономичность, так как при аэробном окислении освобождается наибольшее количество энергии.

Однако этот процесс требует достаточного количества кислорода в митохондриях, что ограничено функциональным состоянием сердечно-сосудистой и дыхательной систем организма. Изменение структуры и свойств мембран митохондрий при повышенной кислотности среды, набухании митохондрий и свободно-радикальном окислении липидов мембран снижает активность ферментов тканевого дыхания и нарушает аэробный ресинтез АТФ.

В отличие от анаэробных путей ресинтеза АТФ, аэробный механизм требует большего времени для развертывания и имеет наименьшую мощность, поэтому аэробный ресинтез АТФ является ведущим процессом только при длительных нагрузках, начиная с нагрузок продолжительностью более 5–6 минут.

Аэробный ресинтез АТФ – это основа развития качества *выносливости* к длительной работе.

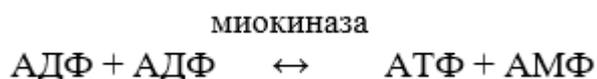
Активаторами ферментов тканевого дыхания при мышечной работе являются АДФ и CO_2 (активирует дыхательный центр мозга, что усиливает кровообращение и улучшает снабжение мышц кислородом).

Аэробные нагрузки – это физические упражнения, при выполнении которых более 60–70 % энергии организм получает за счет аэробного ресинтеза АТФ. При этом в первую очередь мышцы используют углеводы: уровень мышечного гликогена снижается на 50–70 % за 30–40 мин работы, а истощение общих запасов углеводов в организме на 80–90 % происходит за

1–1,5 ч аэробной работы. Источником энергии являются углеводы мышц и печени, липиды.

Анаэробные нагрузки – физические упражнения, при выполнении которых 60–70 % энергии организм получает за счет анаэробных процессов. Основными источниками энергии являются КФ и гликоген мышц.

Миокиназная (аденилаткиназная) реакция – это анаэробный ресинтез АТФ из двух молекул АДФ при участии фермента миокиназы (аденилаткиназы):



Эта кратковременная реакция протекает при предельном утомлении мышц, когда другие процессы ресинтеза АТФ становятся малоэффективными, уровень АТФ критически снижается, а содержание АДФ и АМФ возрастает. Полученный импульс энергии может быть решающим в финальном усилии спортсмена. При менее интенсивной работе образующийся АМФ является мощным активатором ферментов фосфоорилазы и фосфофруктокиназы, которые усиливают гликолиз и аэробное окисление. Кроме того, при распаде АМФ образуется аммиак, который может нейтрализовать молочную кислоту и предупредить ее накопление и отрицательное воздействие на состояние мышц (см. гликолитический ресинтез АТФ). Таким образом, миокиназная реакция, являясь энергетически малоэффективной, выполняет важную регуляторную роль.

Тема 11. Динамика биохимических процессов в организме при мышечной деятельности

План лекции:

1. Динамика энергетических процессов.
2. Понятие о показателях кислородного обеспечения организма.
3. Классификация физических упражнений по мощности работы.
4. Биохимические изменения в организме при мышечной деятельности в различных зонах мощности.

11. Динамика энергетических процессов

Развитие энергетических процессов происходит упорядоченно и в определенной последовательности. В состоянии покоя функционируют все биохимические процессы, но преобладает аэробный ресинтез АТФ.

При работе, в первые мгновения энергия поступает за счет распада имеющихся молекул АТФ. Образующиеся АДФ (неорганический фосфат и ионы Ca^{2+}) являются активаторами ферментов энергетического обмена: КФК, гликолитических и аэробных ферментов, которые усиливают ресинтез АТФ, и резкого падения концентрации АТФ в мышцах не происходит.

Первым в процесс ресинтеза АТФ вступает креатинфосфокиназный ресинтез АТФ. Это связано с активацией КФК ионами Ca^{2+} вместе с миозиновой АТФ-азой. В дальнейшем развивается и достигает своей интенсивности гликолиз. По мере продолжительности ко 2–3 минуте на смену гликолизу приходит аэробный ресинтез АТФ. Такая закономерность развития энергетических процессов в начале мышечной деятельности обусловлена особенностями кинетики процессов ресинтеза АТФ.

Переход энергообеспечения мышечной деятельности с анаэробных ресинтезов на аэробный ресинтез ведет к уменьшению образования энергии за единицу времени, т. е. снижается мощность выполняемой работы.

Вклад различных ресинтезов АТФ в энергообеспечение мышечной работы зависит от интенсивности и продолжительности физической нагрузки. Например, при кратковременной интенсивной работе (бег 100 м) главным источником АТФ является креатинфосфокиназный ресинтез АТФ. При более продолжительной работе (бег 400 м) большая часть АТФ образуется за счет гликолиза. При продолжительных нагрузках (бег 3 000 м и более) энергообеспечение осуществляется за счет аэробного окисления.

11.2. Понятие о показателях кислородного обеспечения организма

Кислородное обеспечение организма является одним из решающих факторов, определяющим характер энергосбережения мышечной деятельности.

Показатели кислородного обеспечения организма:

1. **О₂-запрос** – количество О₂, необходимое для энергообеспечения организма. В покое составляет 0,2–0,3 л/мин, при мышечной деятельности

увеличивается, достигая 30–40 л/мин при выполнении физических нагрузок предельной интенсивности.

2. **О₂-потребление** – фактически потребляемое количество О₂. В покое соответствует О₂-запросу, при длительной непрерывной работе равно 70–90 %, при кратковременной интенсивной работе – 5–10 % величины О₂-запроса.

Процесс транспорта О₂ к работающим мышцам заключается в прохождении О₂ из вдыхаемого воздуха в кровь через стенки легочных альвеол и кровеносных капилляров. Небольшая часть О₂ растворяется в плазме крови (0,3 мл на 100 мл крови), остальная часть О₂ связывается в эритроцитах с гемоглобином с образованием *оксигемоглобина* – основной транспортной формы О₂. Из крови О₂ поступает в мышечные волокна, где миоглобин переносит его в митохондрии.

МПК – максимальное потребление О₂ достигается при физических нагрузках длительностью 3–4 минуты. Для нетренированных людей равно 3,0–3,5 л/мин (или 40–45 мл/кг/мин), у спортсменов – 5,0–6,0 л/мин (или 60–80 мл/кг/мин). Наиболее высокий МПК наблюдается у стайеров. Работа на уровне МПК удерживается около 10 минут, у выдающихся спортсменов – до 20–30 минут.

3. **О₂-дефицит** – это часть О₂-запроса, не удовлетворяемого во время работы, что связано с ограниченными возможностями дыхательной кислородтранспортной систем организма.

4. **О₂-долг** – это количество О₂, потребляемое организмом сверх нормы покоя во время отдыха после работы. Чем выше интенсивность работы, тем выше величина О₂-долга, выраженная в процентах по отношению к О₂-запросу. Абсолютная величина О₂-долга зависит от длительности работы. Так, при беге на 100 м она равна 5,5–6,0 л, а при марафонском беге – 25–45 л. Оплата О₂-долга у спринтера осуществляется в течение 40–60 минут отдыха, а у марафонца – 48 часов и более.

Выделяют два компонента кислородного долга:

1. *Алактатный компонент О₂-долга* – это часть долга, используемая для восстановления содержания КФ и баланса АТФ, насыщения кислородом гемоглобина и плазмы крови, миоглобина мышц. Этот компонент О₂-долга невелик (до 50–60 мл О₂ на кг массы) и ликвидируется в течение первых 3–5 минут отдыха.

2. *Лактатный компонент О₂-долга* – это часть долга, используемая для устранения молочной кислоты, кетоновых тел и других недоокисленных продуктов. Устраняется за 1,5–2 часа.

Устойчивое состояние обмена веществ – это состояние организма во время мышечной деятельности, при котором полностью удовлетворяется О₂-запрос и обеспечивается наиболее экономный режим работы с невысокой концентрацией молочной кислоты в крови. Характерно для спортсменов в длительных соревнованиях на выносливость (марафон, бег на длинные и сверхдлинные дистанции, с/ходьба, лыжные гонки на 30 и 50 км, велогонки на шоссе на 50 и 100 км, гребля на байдарках и каноэ на 10 км и др.).

11.3. Классификация физических упражнений по мощности работы

В зависимости от мощности и продолжительности выполняемой работы и особенностей кислородного обеспечения организма физические нагрузки подразделяются на четыре основные зоны мощности работы: *максимальную, субмаксимальную, большую и умеренную.*

Биохимическая характеристика зон мощности работы представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Биохимическая характеристика зон относительной мощности работы при выполнении спортивных нагрузок

Зона мощности	Время работы	O ₂ -запрос л/мин	O ₂ -долг %	Основной ресинтез АТФ	Основные вещества для ресинтеза АТФ
Максимальная	От 2-3 до 25-30 с	40-50	90-95	КФ гликолиз	Внутримышечные (КФ, гликоген мышц)
Субмаксимальная	От 30-40 с до 3-5 мин	10-30	50-80	гликолиз КФ аэробный	Внутримыш и внемышечные (КФ, гликоген мышц и печени)
Большая	От 3-5 мин до 40-50 мин	4,5-7	20-30	аэробный гликолиз	Внемышечные внутримыш. (гликоген мышц и печени, липиды)
Умеренная	От 40-50 мин до 5-8 часов	3-4	до 5-10	аэробный	Внемышечные (липиды, гликоген печени)

O₂–запрос и O₂-потребление при мышечной деятельности:

1. При работе максимальной мощности поглощение O₂ непрерывно нарастает, но редко достигает МПК, так как работа заканчивается раньше этого и O₂-запрос остается неудовлетворенным

2. При работе субмаксимальной мощности поглощение O₂ достигает предельно возможных величин, но и они оказываются недостаточными для удовлетворения O₂-запроса организма, который может возрасти в 30–60 раз, а O₂-потребление – не более, чем в 20 раз.

3. При работах большой и умеренной мощности постепенно устанавливается равновесие между O_2 -запросом и O_2 -потреблением, причем O_2 -потребление всегда ниже величины МПК.

11.4. Биохимические изменения в организме при мышечной деятельности в различных зонах мощности

Динамика биохимических показателей крови при выполнении физических нагрузок в различных зонах мощности отражает общий характер изменения обмена веществ в органах и тканях.

При нагрузках в максимальной и субмаксимальной зонах мощности в результате работы гликолиза в крови увеличивается содержание лактата. Усиление мобилизации гликогена печени под влиянием повышенной инкретиции норадреналина и адреналина приводит к повышению уровня глюкозы в крови при кратковременной работе (табл. 4).

Таблица 4 – Динамика биохимических показателей крови при выполнении спортивных нагрузок

Биохимический показатель крови	Покой	Работа в зонах мощности			
		максимальная	субмаксимальная	большая	умеренная
Лактат, ммоль/л	0,5–1,5	до 10–16	до 20–25	8,9–16,6	4,0–5,5
РН	7,36–7,42	7,2–7,3	до 6,9–7,0	7,3	без изм.
Глюкоза, ммоль/л	3,3–6,0	до 7–8	до 10–13	незначит. измен.	возможно снижение до 2,2–2,7
Мочевина, ммоль/л	2,5–8,0	без изм.	возможно повышение до 10–13		

При нагрузках в умеренной и большой зонах мощности содержание глюкозы в крови может падать до состояния гипогликемии. Понижение уровня глюкозы в крови при длительной работе связано с понижением уровня гликогена в печени или угнетением его мобилизации. Однако полного исчезновения запасов гликогена в печени не наблюдается даже при длительной утомительной работе.

Увеличение уровня кетоновых тел при длительной работе связано с усилением мобилизации липидов. Однако мобилизация липидов при мышечной деятельности понижается по мере продолжения работы в условиях устойчивого состояния. При этом увеличивается концентрация в крови жирных кислот, глицерина и кетоновых тел.

Высокое содержание глюкозы в крови, поступающей из печени, и молочной кислоты, продуцируемой мышцами, угнетает мобилизацию липидов при кратковременной работе. Низкий уровень глюкозы в крови

стимулирует мобилизацию липидов при длительной работе. Липолиз активируется также адреналином и соматотропным гормоном (СТГ).

Белковый обмен организма испытывает наибольшие изменения при очень напряженных и истощающих нагрузках, приводящих к распаду тканевых белков и некоторых белков крови. При этом в различных зонах мощности наблюдается повышение содержания свободных аминокислот, аммиака, мочевины в крови и тканях. При работе в субмаксимальной зоне мощности и при длительных изнуряющих нагрузках в зонах большой и умеренной мощности возможны явления альбуминурии из-за нарушения проницаемости клеточных мембран в почках.

Тема 12. Биохимические изменения в организме при утомлении и в период отдыха

План лекции:

1. Утомление и общие закономерности его развития.
2. Биохимические особенности восстановления организма.

12.1. Утомление и общие закономерности развития

Утомление – это временное снижение работоспособности организма, наступающее в результате очень интенсивной или длительной работы. Это защитная реакция организма предотвращает наступление неблагоприятных изменений, угрожающих здоровью спортсмена.

Глобальное утомление – связано с биохимическими изменениями во многих системах организма и большой массе мышечной ткани.

Локальное утомление – связано с биохимическими изменениями только в некоторых группах мышц или органов.

Биохимические механизмы развития утомления разнообразны и зависят от интенсивности и продолжительности работы.

Однако существуют общие закономерности развития утомления:

- нарушение баланса АТФ/АДФ (снижение концентрации АТФ и увеличение концентрации АДФ) в работающих мышцах;
- существенное расходование основных источников энергии для определенного вида деятельности;
- снижение потребления O_2 в органах и тканях;
- уменьшение интенсивности синтеза многих ферментов и гормонов;
- нарушение согласованности регуляции обмена веществ ЦНС, эндокринной системой и ферментами;
- значительные потери воды и минеральных солей;
- накопление метаболитов (лактат, мочевины, кетоновые тела);
- изменение pH внутренней среды организма.

ГАМК (γ -аминомасляная кислота) – биологически активное вещество, один из факторов снижения возбудимости и утомления нейронов. Образование ГАМК связано с циклом трикарбоновых кислот Кребса и величиной pH среды. Снижение активности реакций цикла Кребса при дефиците O_2 или резком снижении уровня глюкозы в крови, а также снижение pH при избытке лактата способствуют накоплению ГАМК. При этом развивается охранительное торможение больших зон коры головного мозга, где расположены центры двигательной активности мышц. Такое состояние ЦНС приводит к резкому снижению работоспособности организма (рис. 3).

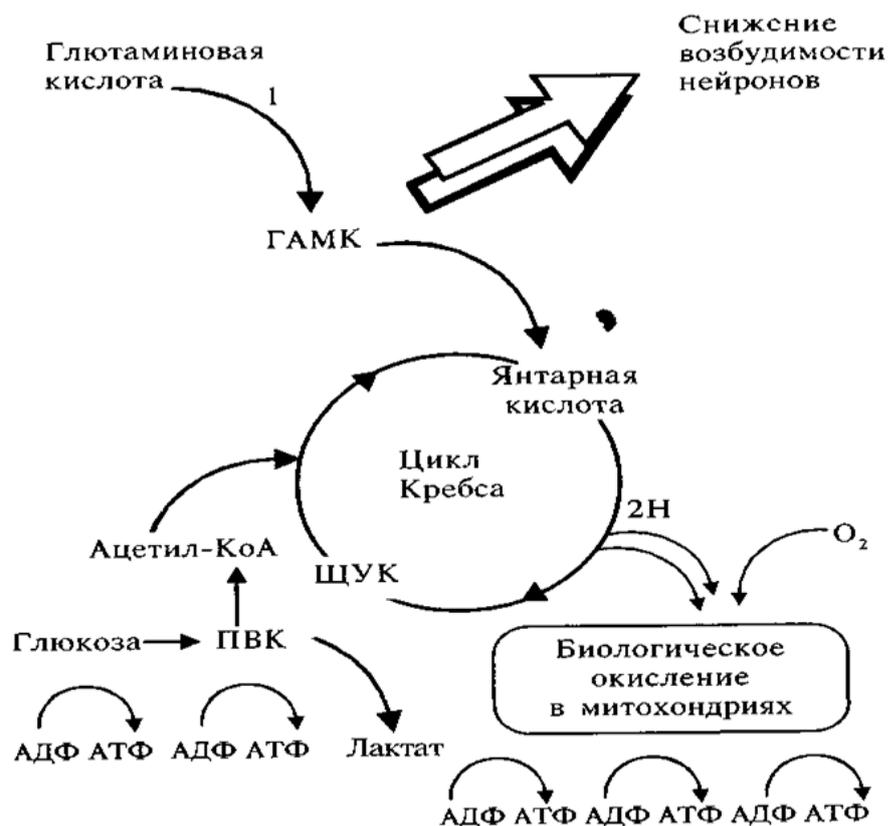


Рисунок 3 – Схема действия ГАМК при утомлении

Биохимические факторы утомления при работе *максимальной* мощности:

- снижение содержания АТФ в мышцах на 30–50 %;
- снижение уровня КФ в мышцах за 6–8 с работы;
- гликолиз не достигает максимума, но уровень лактата – высокий (16–18 ммоль/л);
- рН крови снижается до 7,2;
- усиливается распад белков;
- нарушается эндокринная регуляция;
- биохимические изменения в ЦНС незначительны.

Биохимические факторы утомления при работе *субмаксимальной* мощности:

- исчерпание запасов КФ в мышцах;
- снижение рН до 7,0–6,8;
- резкое усиление гликолиза и максимальное увеличение содержания лактата (до 20 ммоль/л и более);
- снижение активности АТФ-азы миозина мышц под влиянием повышенной концентрации Н⁺ и АДФ;
- снижение внутримышечных запасов гликогена, особенно в белых волокнах;
- набухание митохондрий, разобщение окисления с фосфорилированием.

Биохимические факторы утомления при работе *большой* мощности в основном те же, что и при работе субмаксимальной мощности, но развиваются медленнее и наступают позднее.

Биохимические факторы утомления при работе *умеренной* мощности приводят к биохимическим изменениям, таким как гипогликемия, увеличение содержания мочевины и кетоновых тел в крови, большие потери воды и минеральных солей.

12.2. Биохимические особенности восстановления организма

После прекращения физической нагрузки интенсивность обменных процессов, работа дыхательной и сердечно-сосудистой систем сохраняются на рабочем или близком к рабочему уровню. При этом преобладают аэробные процессы, а активность анаэробных снижается. Кислород тратится не на процессы распада, а на процессы синтеза веществ. Процессы распада сменяются процессами синтеза веществ. В процессы синтеза активно включаются продукты обмена: глюкоза, лактат, кетоновые тела, ПВК, аминокислоты. Из них начинают синтезироваться углеводы, белки, липиды. Примерно через 1–1,5 часа количество метаболитов уменьшается, поэтому необходимо своевременное питание для дальнейшего восстановления организма.

Восстановление делится на *срочное* и *отставленное*:

1. *Срочное восстановление* – это этап устранения продуктов анаэробного обмена, главными из которых являются креатин и лактат. Креатин устраняется в течение 5 минут в условиях повышенного потребления O_2 (алактатный O_2 -долг).

Лактат используется внутренними органами. Так, в миокарде он окисляется до CO_2 и H_2O , в печени превращается в глюкозу. В почках часть лактата окисляется до CO_2 и H_2O , а часть удаляется из организма с мочой. Потовые железы тоже способствуют удалению лактата с потом. Устранение избытка лактата происходит за 1–2 часа при повышенном потреблении O_2 (лактатный O_2 -долг).

2. *Отставленное восстановление* – это этап восстановления запасов веществ и внутриклеточных структур, поврежденных во время работы. Гликоген мышц и печени синтезируется из глюкозы в течение 24–36 ч. Липиды восстанавливаются за 36–48 ч, а белки мышц синтезируются из аминокислот в течение 48–72 ч.

Восстановление внутриклеточных структур (миофибрилл, митохондрий, клеточных мембран) протекает 72–96 ч.

Восстановление протекает *гетерохронно* или разновременно. Различные классы веществ восстанавливаются не одновременно, а в определенной последовательности. Так, в мышцах восстановление веществ идет в следующей последовательности: КФ, гликоген, липиды, белки.

Неодновременно происходит восстановление органов и тканей. Быстрее всех восстанавливаются головной мозг и сердце, позднее мышцы, печень и запасы жиров в депо организма.

Время восстановления организма после нагрузки зависит от веществ, использованных в работе (табл. 5).

Таблица 5 – Время полного восстановления организма после соревновательных нагрузок

Зона мощности работы	Время восстановления
Максимальная	1–2 ч
Субмаксимальная	2–5 ч
Большая	От 5–7 до 24 ч
Умеренная	От 1 до 3–5 суток

Длительность удержания анаболической фазы обмена веществ определяется в основном следовыми биохимическими изменениями в ЦНС и эндокринной системе, остающимися после работы. При достаточно продолжительном сохранении анаболической фазы обмена происходит не только восстановление израсходованных веществ до исходного уровня, но и их сверхвосстановление – *суперкомпенсация* (рис. 4).

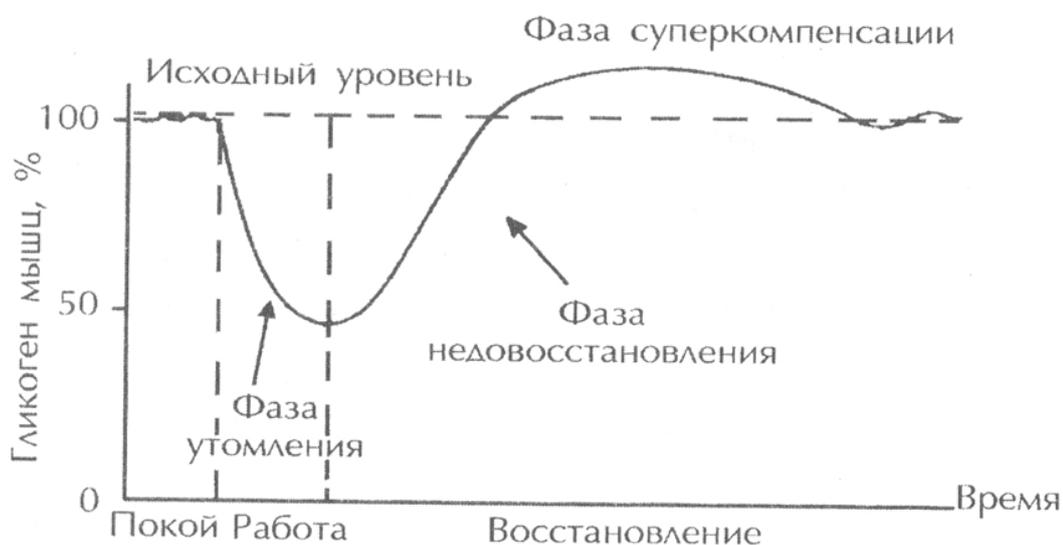


Рисунок 4 – Расходование энергетических ресурсов организма при мышечной деятельности

Общие закономерности фазы суперкомпенсации

Суперкомпенсация веществ превышает исходный уровень от 3–5 до 10–20%. Амплитуда и продолжительность суперкомпенсации веществ зависят от биохимических сдвигов во время работы. Например, после кратковременных интенсивных упражнений эта фаза наступает раньше и

сохраняется меньший промежуток времени, чем после длительной работы, когда суперкомпенсация наступает позднее и сохраняется более длительное время.

Основной причиной появления суперкомпенсации веществ является длительное повышение содержания в крови гормонов, стимулирующих синтез веществ в восстановительный период. К ним относятся инсулин, тестостерон, соматотропин и др.

Тема 13. Биохимическая характеристика качеств силы, быстроты и выносливости спортсмена

План лекции:

1. Биохимические основы качества силы.
2. Биохимические основы качества быстроты.
3. Биохимические основы качества выносливости.

13.1. Биохимические основы качества силы

Сила – способность организма развивать максимальные мышечные напряжения для преодоления сил сопротивления соперника, спортивного снаряда или внутренних сопротивлений, возникающих за счет биомеханических особенностей движений спортсмена.

Биохимическая основа силы мышц и организма – это увеличение в процессе тренировки содержания сократительных белков и их АТФ-азной активности, развитие анаэробных систем ресинтеза АТФ преимущественно за счет креатинфосфокиназного механизма.

Соревновательные упражнения на силу – это кратковременные нагрузки в зоне максимальной мощности. Например, подъем штанги и толкание ядра составляет 3–5 с, метание молота – 6–7 с.

Тренировочные упражнения на силу – это кратковременные нагрузки с большими отягощениями (от 75–80 % до околопредельных и предельных нагрузок). Анаэробный характер этих нагрузок сопровождается существенным нарушением баланса АТФ, расходом КФ мышц и повышенным содержанием аммиака, мочевины и свободных аминокислот в крови и тканях организма. Под влиянием адреналина повышается уровень глюкозы в крови.

Биохимическими результатами многолетней силовой тренировки могут быть гипертрофия скелетных мышц, увеличение количества миофибрилл, увеличение содержания сократительных белков в миофибриллах, увеличение АТФ-азной активности миозина и активности КФК, увеличение содержания КФ.

13.2. Биохимические основы качества быстроты

Быстрота – это способность организма выполнять физические упражнения с максимальной частотой движений и обеспечивать наивысшую скорость перемещения тела или его частей в пространстве.

Биохимические основы качества быстроты – это максимальное развитие в процессе тренировки ферментных систем анаэробного энергообеспечения организма, значительное повышение АТФ-азной активности миозина, увеличение содержания сократительных белков в мышцах.

Соревновательные упражнения на быстроту – это физические нагрузки максимальной и кратковременные субмаксимальной зон мощности.

Продолжительность работы составляли от 6–20 с при беге на 60, 100 и 200 м и до 25–50 с при плавании на 50–100 м, беге на 400 м, беге на коньках на 500 м и т. д.

Тренировочные упражнения на быстроту – это физические нагрузки типа соревновательных в зоне максимальной мощности работы от 3–5 до 10–20 с в плавании, конькобежном спорте и длинном спринте в легкой атлетике. В тренировке спринтеров применяются упражнения с большой частотой движений и пробегание коротких отрезков дистанций в 2/3 силы на высокой скорости с хода и переходом на свободный бег.

Биохимические результаты многолетней скоростной тренировки: увеличение количества источников энергии (КФ и гликогена) в мышцах, развитие анаэробных ферментных систем ресинтеза АТФ (КФК и ферментов гликолиза), увеличение АТФ-азной активности миозина, увеличение содержания сократительных белков в мышцах.

13.3. Биохимические основы качества выносливости

Выносливость – это способность организма выполнять работу необходимой мощности в течение определенного промежутка времени.

Биохимическая основа выносливости к длительной работе – это развитие аэробных ферментных систем энергообеспечения организма, значительное увеличение его энергетических запасов (гликогена мышц и печени, фосфолипидов).

Соревновательные упражнения на выносливость относятся к нагрузкам большой и умеренной зон мощности.

В зоне большой мощности продолжительность работы 7–40 мин (бег на 3–10 км, спортивная ходьба 5–10 км, плавание 800–1 500 м, коньки 10 000 м и др.).

В зоне умеренной мощности продолжительность работы до 2–5 ч (спортивная ходьба на 20 и 50 км, марафон, лыжные гонки на 30–50 км, биатлон, велогонки на шоссе и др.)

Тренировочные упражнения на выносливость к длительной работе – это продолжительные нагрузки большой и умеренной зон мощности. Систематически выполняется большой объем непрерывной аэробной работы продолжительностью 2–4 ч. При тренировке выносливости в видах спорта с продолжительностью работы до 1 часа используются переменный и интервальный методы тренировки. Объем непрерывной работы умеренной мощности не превышает 1,5–2 ч.

Биохимические результаты многолетней тренировки на выносливость к длительной работе: увеличивается содержания гликогена в мышцах и печени (на 50–70 %), повышается активность ферментов аэробного энергообеспечения в мышцах (цикл Кребса, дегидрогеназы и др.), увеличивается содержание миоглобина в мышцах (более чем в 1,5 раза), усиливается мобилизация липидов из жировых депо и их активное окисление.

Общая выносливость – это способность спортсмена выполнять неспецифические нагрузки. Такими нагрузками, например, для футболиста, могут быть кросс, лыжные гонки, плавание, подвижные игры и т. п.

Специальная выносливость – это способность спортсмена выполнять нагрузки, специфические для данного вида спорта и требующие технической, тактической и психологической подготовки спортсмена. Так, у бегунов на средние дистанции, спринтеров развивается скоростная выносливость, а у борцов, гребцов, тяжелоатлетов – силовая выносливость.

Алактатная выносливость характеризуется наибольшим временем работы в зоне максимальной мощности, при которой главным источником энергии является креатинфосфокиназная реакция. Наибольшей алактатной выносливостью обладают мышцы с преобладанием белых волокон.

Лактатная выносливость характеризуется выполнением физических нагрузок в зоне субмаксимальной мощности, при которых основным источником энергии служит гликолиз. Наибольшей лактатной выносливостью обладают белые мышечные волокна, богатые гликогеном.

Другой фактор, определяющий лактатную выносливость – это резистентность мышечных волокон и всего организма в целом к повышению кислотности вследствие накопления лактата в мышцах и крови.

Аэробная выносливость проявляется при выполнении продолжительных упражнений умеренной мощности, которые обеспечиваются энергией, главным образом, за счет аэробного окисления. Эта выносливость определяется следующими факторами: запасами в организме источников энергии, доставкой кислорода в работающие мышцы и развитием в работающих мышцах митохондриального окисления. Источниками энергии являются *углеводы, жирные кислоты, кетоновые тела, аминокислоты.*

Транспорт кислорода в мышцы обеспечивается кардиореспираторной системой. Поэтому важно функциональное состояние сердечнососудистой и дыхательной систем, кислородная емкость крови, зависящая от количества эритроцитов и содержания в них Hb. Внутримышечные факторы аэробной выносливости – это размер и количество митохондрий, содержание миоглобина. Наибольшей аэробной выносливостью обладают красные мышечные волокна.

Оценка аэробной выносливости проводится по показателям МПК и ПАНО. Между МПК и аэробной выносливостью существует четкая корреляция: нагрузку одинаковой интенсивности дольше выполняют спортсмены с большей величиной МПК. Под влиянием тренировки МПК может увеличиться на 40 % и более.

При низких значениях ПАНО в организме слабо развито аэробное энергообеспечение и поэтому даже при выполнении нагрузок невысокой интенсивности организм включает гликолиз, ведущий к образованию лактата и росту кислотности. При этом снижается активность ферментов аэробного ресинтеза АТФ, ухудшается доставка кислорода к митохондриям, что сокращает продолжительность работы.

Тема 14. Биохимический контроль в спорте

План лекции:

1. Цели, задачи и организация биохимического контроля.
2. Виды биохимических тренировочных эффектов.
3. Выбор тестов и биохимических методов.
4. Диагностика состояния организма на основании биохимических показателей.
5. Понятие об антидопинговом контроле в спорте.

14.1. Цели, задачи и организация биохимического контроля

Цель биохимического контроля в спорте – всестороннее изучение закономерностей биохимической адаптации организма спортсмена к интенсивным тренировочным и соревновательным нагрузкам, дальнейшее развитие и совершенствование биохимических основ теории и методики спортивной тренировки.

Задачи биохимического контроля в спорте:

1. Диагностика спортивной работоспособности и тренированности спортсмена.
2. Биохимическая оценка срочного, отставленного и кумулятивного эффектов тренировки.
3. Биохимическая оценка эффективности действия специальных средств и факторов питания, используемых для повышения работоспособности, ускорения восстановления и улучшения адаптации организма к физическим нагрузкам.
4. Выявление случаев перенапряжения и перетренированности организма.
5. Осуществление антидопингового контроля.

14.2. Виды биохимических тренировочных эффектов

Виды биохимических тренировочных эффектов – это определенные последовательные этапы биохимической адаптации организма спортсмена в процессе тренировки. Различают три основных вида биохимических тренировочных эффектов: *срочный, отставленный, кумулятивный*.

Срочный тренировочный эффект – это изменения биохимических показателей обмена веществ, которые наступают непосредственно во время мышечной деятельности и могут сохраняться на достигнутом уровне в течение очень короткого промежутка времени после ее окончания (по показателям крови 1–3 минуты).

Отставленный (отдаленный) тренировочный эффект – это биохимические изменения обмена веществ, которые происходят в организме в восстановительный период. Отличительной чертой этого периода является наступление фазы суперкомпенсации веществ и восстановление организма.

Кумулятивный (накопительный) тренировочный эффект – это биохимические адаптационные изменения в организме спортсмена, происходящие в течение продолжительного периода тренировки. Он включает множество срочных и отставленных эффектов предыдущих этапов подготовки. Позволяет оценить специфичность биохимической адаптации организма спортсмена при многолетней тренировке, составить прогноз дальнейшей перспективы его совершенствования.

14.3. Выбор тестов и биохимических методов

Основные требования, предъявляемые к методам биохимических исследований и их организации следующие:

- должны в наибольшей степени отражать состояние изучаемой функции организма;
- быть наименее травматичными;
- быть стандартными, чтобы можно было сопоставлять результаты;
- должны соблюдаться сроки обследования спортсменов: в состояниях покоя, после мышечной деятельности и через определенные отрезки времени восстановительного периода;
- обследования должны проводиться в одно и то же время суток.

Объекты биохимических исследований – это, в основном, биологические жидкости (кровь, моча, слюна, пот) и мышечная ткань. По изменению состава крови можно судить о состоянии внутренней среды организма в покое, при мышечной деятельности, в период отдыха.

Для многих исследований требуется небольшое количество крови (0,01–0,05 мл), поэтому берут ее из безымянного пальца руки либо из ребра мочки уха. После выполненной физической работы забор крови рекомендуется проводить спустя 3–7 мин, когда наступают наибольшие биохимические изменения в ней.

При физических нагрузках и воздействии других факторов среды, а также при патологических изменениях обмена веществ или после применения фармакологических средств содержание отдельных компонентов крови существенно изменяется. Следовательно, по результатам анализа крови можно охарактеризовать состояние здоровья человека, уровень его тренированности, протекание адаптационных процессов и др.

По изменению количественного и качественного состава мочи можно судить о состоянии обмена веществ в организме при мышечной деятельности. С мочой из организма выводятся избыток воды, многие электролиты, промежуточные и конечные продукты обмена веществ, гормоны, витамины, чужеродные вещества. Суточное количество мочи (диурез) в норме в среднем составляет 1,5 л. Мочу собирают в течение суток, что вносит определенные затруднения в проведение исследований. Иногда мочу берут небольшими порциями (например, через 2 ч), при этом фиксируют порции, полученные до выполнения физической работы и после нее. Моча не может быть достоверным объектом исследования при кратковременных

тренировочных нагрузках, так как сразу после их выполнения весьма сложно собрать необходимое количество мочи для ее анализа.

При различных функциональных состояниях организма в моче могут появляться химические вещества, не характерные для нормы: глюкоза, белок, кетоновые тела, желчные пигменты и др. Определение этих веществ может использоваться для контроля эффективности тренировочного процесса и состояния здоровья спортсмена.

Слюна обычно используется параллельно с другими биохимическими объектами. В слюне определяют электролиты (Na^+ и K^+), активность ферментов (амилазы), рН. Существует мнение, что слюна, обладая меньшей, чем кровь, буферной емкостью, лучше отражает изменения кислотно-щелочного равновесия организма человека. Однако как объект исследования слюна не получила широкого распространения, поскольку состав ее зависит не только от физических нагрузок и связанных с ними изменений внутритканевого обмена веществ, но и от состояния сытости («голодная» или «сытая» слюна).

Мышечная ткань является очень показательным объектом биохимического контроля мышечной деятельности, однако используется редко, так как образец мышечной ткани необходимо брать методом игольчатой биопсии. Для этого из исследуемой мышцы с помощью специальной иглы берется небольшой кусочек ткани (2–3 мг), которая сразу же замораживается в жидком азоте. В дальнейшем проба подвергается структурному и биохимическому анализу. В ней определяют количество сократительных белков (актина и миозина), АТФ-азную активность миозина, показатели энергетического потенциала (содержание АТФ, гликогена, креатинфосфата), продукты энергетического обмена, электролиты и другие вещества. По их содержанию судят о составе и функциональной активности мышц, их энергетических возможностях, а также изменениях, которые происходят при воздействии однократной физической нагрузки или долговременной тренировки.

Успешное решение проблем биохимического контроля в спорте требует внимательного подбора *тестирующих физических нагрузок (тестов)* для оценки специальной работоспособности спортсменов. Используемые кратковременные тесты должны оказывать значительное воздействие на ведущие для данного вида спорта функции организма. По характеру воздействия на обмен веществ они должны либо соответствовать, либо максимально приближаться к воздействию соревновательных нагрузок.

Среди лабораторных тестов наиболее распространенными являются виды велоэргометрических нагрузок, степ-тест, комбинированные медицинские функциональные пробы. К специальным тестам относятся дозированные физические нагрузки, соответствующие данному виду спорта.

Степ-тест (гарвардский степ-тест) – это физическая нагрузка в виде подъема на скамью высотой 45 см (для женщин) и 50 см (для мужчин) в заданном темпе: для мужчин 30 подъемов в минуту в течение 5 мин, а для

женщин – 24 подъема в минуту в течение 3 мин. Степ-тест позволяет оценить аэробную работоспособность спортсмена.

Велоэргометрические нагрузки – это физические нагрузки на велоэргометре для определения не только аэробной, но и анаэробной работоспособности спортсмена. Например, ступенчато возрастающая нагрузка каждые 2 мин с начальной мощностью 50 Вт и скоростью вращения педалей 75 об/мин. Через каждые 2 мин мощность увеличивается на 50 Вт и так до индивидуального предела (200, 500 Вт и более).

Определение аэробной работоспособности проводится при работе в режиме устойчивого состояния организма: скорость вращения педалей 75 об/мин при мощности 50 Вт. Время работы 6 или 2–3 мин. (чем выше уровень тренированности спортсмена, тем короче время вработывания). Затем мощность увеличивают через те же промежутки времени до тех пор, пока ЧСС не достигнет 170 уд/мин. При этой мощности работа продолжается непрерывно до увеличения частоты пульса на 6–8 уд/мин. Это работа на уровне МПК и обычно ее выполняют 6–8 мин, число ступеней не превышает 4–5.

Нагрузки-тесты в скоростно-силовых и технических видах спорта – специальные тесты в виде прикидок в данном виде спорта. В этом случае сохраняется специфичность нагрузки, связанная с положением тела, условиями работы и использованием только необходимых мышц.

Стандартные физические нагрузки – это строго дозированные нагрузки, доступные не только спортсменам, но и нетренированным людям. К ним относятся степ-тест, велоэргометрия, нагрузки на тредбане (движущейся ленте с фиксируемой скоростью движения) и др.

Стандартные нагрузки позволяют выявить индивидуальные различия обмена веществ и используются для характеристики уровня тренированности организма. После стандартной физической нагрузки значительные биохимические сдвиги обнаруживаются у менее тренированных спортсменов.

Максимальные физические нагрузки – это нагрузки, наиболее характерные для данного вида спорта и выполняются они с максимальной возможной интенсивностью для данного упражнения. После таких нагрузок, выполняемых в условиях соревнования или в виде прикидки, в тренированном организме возможны более значительные биохимические изменения, которые не характерны для нетренированных людей.

14.4. Диагностика состояния организма на основании биохимических показателей

Диагностика состояния организма спортсмена по основным биохимическим показателям крови и мочи

Глюкоза – это простой углевод, содержащийся в крови в количестве 3,3–6,0 ммоль/л (норма покоя). После мышечной деятельности возможны варианты изменения уровня глюкозы в зависимости от мощности работы.

При кратковременных нагрузках максимальной и субмаксимальной мощности уровень глюкозы увеличивается вследствие мобилизации гликогена печени, при длительной работе большой мощности в течение 30–40 мин содержание глюкозы обычно сохраняется на уровне покоя, а при длительной изнуряющей работе в зоне умеренной мощности может снизиться до 2,5–2,7 ммоль/л (состояние гипогликемии).

Таким образом, по изменению содержания глюкозы в крови можно судить о мобилизации и степени использования углеводов – основных источников энергии в организме.

У здорового человека глюкоза в моче отсутствует. У спортсменов она может появиться при интенсивной мышечной деятельности, эмоциональном возбуждении перед стартом и при избыточном поступлении углеводов с пищей (пищевая глюкозурия) в результате значительного увеличения ее содержания в крови (сильной гипергликемии). Появление глюкозы в моче при физических нагрузках может свидетельствовать о чрезмерно интенсивной мобилизации гликогена в печени, а также изменении проницаемости почечных канальцев при сильном утомлении организма.

Молочная кислота или ее соль лактат являются конечными продуктами гликолиза (анаэробного окисления углеводов). Из мышц молочная кислота поступает в кровь, причем это происходит постепенно, достигая максимума на 3–7 мин после окончания работы.

Нормальный уровень молочной кислоты в покое равен 0,5–1,5 ммоль/л и существенно увеличивается при выполнении интенсивной физической работы, особенно в зоне субмаксимальной мощности (табл. 3) у нетренированных людей до 5–6 ммоль/л, у спортсменов – до 20 ммоль и более. При нагрузках аэробного характера ее уровень не превышает 5–8 ммоль/л.

Снижение содержания молочной кислоты у одного и того же спортсмена при выполнении стандартных нагрузок на разных этапах тренировочного процесса свидетельствует об улучшении тренированности, а повышение – об ухудшении.

Значительное увеличение уровня молочной кислоты после выполнения нагрузки субмаксимальной мощности свидетельствует о более высоком уровне тренированности спортсмена.

Таким образом, по изменению содержания молочной кислоты в крови можно определять анаэробные гликолитические возможности организма.

Мочевина – показатель состояния азотистого, в первую очередь, белкового обмена. При физических нагрузках, адекватным возможностям спортсмена, уровень мочевины практически не изменяется. При большом утомлении уровень мочевины увеличивается до 10–13 ммоль/л и более.

Сохранение повышенного уровня мочевины в крови, взятой натощак после ночного отдыха, свидетельствует о незаконченном восстановлении организма. Нормализация уровня мочевины указывает на успешное восстановление организма после тяжелой физической нагрузки.

14.5. Понятие об антидопинговом контроле в спорте

К допингам относят биологически активные вещества или факторы специального воздействия на организм, которые повышают работоспособность спортсмена, зачастую в ущерб здоровью. Определяют допинговые вещества в моче и крови.

Существует следующая классификация допинговых веществ.

1. Классы запрещенных препаратов:

S1 – анаболические вещества. Тестостерон и его производные. При правильном применении дают значительный прирост массы тела и увеличение силы мышц. Анаболические стероиды также приводят к появлению некоторых специфических психологических эффектов. К ним относятся общий психологический «подъем», желание тренироваться и преуспевать. В то же время по механизму обратной связи анаболические стероиды угнетают выработку эндогенного гормона у мужчин, что приводит к патологическим состояниям после прекращения курса. Вмешательство в нормальную гормональную деятельность может вызывать рост опухолей, проявление психических синдромов, печеночную и почечную дисфункции, нарушение функций сердечно-сосудистой системы, в том числе изменения в липидном обмене.

S2 – гормоны и гормоноподобные вещества (эритропоэтин, гормон роста, инсулины, кортикотропины).

S3 – β 2-адреномиметики (эфедрин, кленбутерол). Используют в качестве анаболических средств, а также средств, улучшающих проходимость дыхательных путей, и, соответственно, увеличивающих транспорт кислорода в ткани.

S4 – вещества с антиэстрагенной активностью. Используются в профессиональном спорте в целях торможения преобразования тестостерона в женские половые гормоны, а также для увеличения мышечной массы.

S5 – диуретики и другие маскирующие вещества. Лекарственные средства разного химического строения, которые способствуют увеличению образования и выделения мочи. Используются для сгонки веса, в бодибилдинге – для улучшения рельефности мышц. Применяются для выведения из организма других допингов. Следствие применения – обезвоживание и мышечные судороги.

S6 – стимуляторы (запрещены только во время соревнований). Оказывают стимулирующее воздействие на ЦНС (амфетамин, фенамин, кокаин др.). В организме существуют «предохранители», которые не позволяют до конца расходовать заложенные резервы. Стимуляторы их убивают, и спортсмен черпает свои силы из «неприкосновенного запаса». Использование стимуляторов может привести к различным побочным эффектам и даже к смерти.

S7 – наркотические анальгетики (запрещены только во время соревнований). Они обладают выраженным болеутоляющим эффектом с преимущественным влиянием на ЦНС. Снижают боль, увеличивают болевой

порог настолько, что сложно распознать насколько серьезна травма. Вызывают психическую и физическую зависимость (морфин, опий).

S8 – каннабиноиды (запрещены только во время соревнований). Обладают эйфоригенным и галлюциногенным действием (марихуана, гашиш, гашишное масло).

S9 – глюкокортикостероиды (запрещены только во время соревнований).

P1 – алкоголь – этиловый спирт (запрещены только на соревнованиях в отдельных видах спорта).

Виды спорта, в которых запрещено использовать алкоголь – это авиация, боулинг, каратэ, стрельба из лука, современное пятиборье (для стрельбы), автомобильный спорт, мотоспорт, водный моторный спорт.

P2 – β -адреноблокаторы (запрещены только на соревнованиях в отдельных видах спорта). Были созданы как средства лечения ишемической болезни сердца, блокирующие адренергическую передачу возбуждения. Снижают частоту сердечных сокращений и антиаритмический эффект, однако они снижают выносливость и повышают утомляемость.

Виды спорта в которых запрещено использовать β -адреноблокаторы – это авиация, стрельба, стрельба из лука, бильярдный спорт, бобслей, керлинг, бридж, гимнастика, боулинг, борьба, современное пятиборье (для стрельбы), автомобильный спорт, мотоспорт, водный моторный спорт, парусный спорт.

В список входит более 140 видов различных препаратов, список постоянно обновляется.

14.6. Допинговые методы

Кровяной допинг (забор крови у спортсмена за определенный срок до соревнований и вливание ее обратно непосредственно перед стартом). Приводит к развитию аллергии, сыпи, лихорадки, нарушению функций почек, перегрузки кровообращения, образование сгустков крови и развитие метаболического шока.

Фармакологические, химические и механические манипуляции с биологическими жидкостями (маскирующие вещества, подмена проб, подавление выделение мочи и др.)

К использованию допинга приравниваются:

- отказ от предоставления проб;
- нарушение требований доступности спортсмена;
- фальсификация или попытка фальсификации в сфере допинг контроля;
- обладание запрещенными препаратами или методами;
- распространение запрещенного препарата или метода;
- назначение или попытка назначения спортсмену любого запрещенного препарата или метода, подстрекательство, помощь, потворство, укрывательство и любой другой вид соучастия в невыполнении требований или при попытке невыполнения.

Тема 15. Биохимическая характеристика отдельных видов спорта

План лекции:

1. Биохимическая характеристика циклических видов спорта.
2. Биохимическая характеристика ациклических видов спорта.
3. Биохимическая характеристика видов спорта с переменной мощностью работы.

15.1. Биохимическая характеристика циклических видов спорта

В зависимости от структуры соревновательных физических нагрузок и особенностей их биологического воздействия на организм все виды спорта можно подразделить на *циклические, ациклические и виды спорта с переменной мощностью работы.*

Циклические виды спорта – это виды спорта, в которых соревновательные нагрузки представляют собой завершённые циклы движений, непрерывно повторяющиеся в течение всего периода соревновательной деятельности. К таким нагрузкам относятся легкоатлетический бег, лыжные гонки, плавание, гребля, велогонки, спортивная ходьба и др. В зависимости от мощности и продолжительности работы соревновательные нагрузки в циклических видах спорта могут относиться к различным зонам мощности: максимальной, субмаксимальной, большой и умеренной. Биохимические изменения в организме при выполнении таких нагрузок в основном соответствуют биохимическим параметрам характеристики определенной зоны мощности работы. Различия в биохимическом действии таких нагрузок на организм относительно небольшие и в основном связаны со спецификой вида спорта, структурой выполняемого упражнения и условиями, в которых проводятся соревнования: беговая дорожка стадиона, лыжная трасса на пересеченной местности, плавательный бассейн, техника (стиль) преодоления дистанции, влияние условий окружающей среды и др.

Легкоатлетический бег – это циклические соревновательные упражнения, в основе которых лежит беговой шаг с фазой полета с ноги на ногу. Все виды соревновательных нагрузок в беге подразделяют на спринтерский бег (короткий и длинный спринт), бег на средние дистанции, бег на длинные дистанции, бег на сверхдлинные дистанции. Соревновательные нагрузки в беге на разные дистанции сохраняют единую схему беговых движений, но относятся к различным зонам мощности работы и имеют свои особенности адаптации организма.

Спринтерский бег – это бег на короткие дистанции: 60, 100 и 200 м. Работа предельной интенсивности в зоне максимальной мощности. Скорость в беге на 100 м может достигать около 10,4 м/сек (мировой рекорд – 9,58 сек). Спортсмен должен обладать высоким уровнем развития скоростных и скоростно-силовых качеств (высокая АТФ-азная активность мышц, высокое содержание сократительных белков миофибрилл и развитие сократительного

аппарата мышц в целом, высокое содержание креатинфосфата в мышцах). Дефицит кислорода может достигать 90-95 % от запроса. Поэтому при беге на 60 и 100 м основным энергетическим процессом ресинтеза АТФ является креатинфосфокиназный, а в беге на 200 м он сочетается с использованием гликолитического процесса.

Спринтерский бег связан с большим эмоциональным и физическим напряжением организма. Он сопровождается сильным возбуждением ЦНС и выделением в кровь больших количеств адреналина. По этим причинам содержание глюкозы в крови повышается уже в предстартовом состоянии и достигает 7–8 ммоль/л после бега. Уровень лактата в крови может возрастать после бега на 100 и 200 м до 10–12 ммоль/л.

Длинный спринт – бег на 400 м. По длительности работы (43,5–50 с) и дефициту кислорода (до 80 %) он относится к кратковременным нагрузкам зоны субмаксимальной мощности. Скорость бега может достигать 9,2 м/с. Особенности биологического воздействия на организм сходны с воздействием короткого спринта, но специальная скоростная выносливость связана больше с гликолитическим ресинтезом АТФ и использованием резервов гликогена мышц. В мышцах и крови более значительно возрастает содержание молочной кислоты, чем при беге на 100 и 200 м, достигая величин 15–17 ммоль/л, гипергликемия по содержанию глюкозы в крови достигает 9–10 ммоль/л.

Бег на средние дистанции – это бег на дистанции 800, 1000, 1500 м, 1 милю. По длительности работы (1.41,11–1.50,00 на 800 м и 3.26,04–3.35,00 на 1500 м) и дефициту кислорода (соответственно – около 70–80 % и 50–60 %) относится к более продолжительным нагрузкам субмаксимальной мощности. Скорость в беге на 800 м может достигать 7,9 м/с, в беге на 1500 м – 7,2 м/с. Специальная скоростная выносливость бегунов на средние дистанции в основном связана с гликолитическим ресинтезом АТФ и использованием гликогена мышц в качестве основного источника энергии. Бег на 800 м может сопровождаться наиболее высокими величинами лактата в крови (до 20–25 ммоль/л) и снижением рН крови до 7,1–7,0. На дистанции 1500 м эти показатели несколько ниже, так как на второй половине дистанции в мышцах наряду с гликолизом начинает активнее использоваться и аэробный процесс ресинтеза АТФ, в энергетику включаются липиды.

Бег на длинные дистанции – это бег на 3000 м (гладкий и с препятствиями), 5 000 и 10 000 м. По длительности работы (7.20–8.00 на 3 000 м, 12.37,35–13.00 на 5000 м и 26.17,59–29.00 на 10 000 м) и дефициту кислорода (примерно до 20–30 %) относится к зоне большой мощности. Скорость в беге на 3000 м может достигать 6,8 м/с, в беге на 5 000 м – 6,6 м/с, в беге на 10 000 м – 6,3 м/с. Специальная скоростная выносливость бегунов на длинные дистанции в основном связаны с использованием аэробных энергетических процессов ресинтеза АТФ. Для бега на 5 000 и 10 000 м она проявляется как аэробная выносливость к длительной работе. Активно используется гликоген мышц и печени, липиды. Увеличивается образование

кетонных тел, а при сильном утомлении при чрезмерной нагрузке повышается содержание мочевины в крови.

Для бегунов на 3000 м наряду с аэробным процессом ресинтеза АТФ еще достаточно активно используется и гликолиз. Однако уровень лактата в крови возрастает в меньшей степени, чем при беге на 1500 м. Специальная скоростная выносливость в этой дисциплине имеет аэробно-гликолитическую основу и тяготеет к бегу на 1500 м.

Бег на сверхдлинные дистанции – это бег на дистанции 20, 30 км, часовой бег, марафон – 42 км 195 м. По продолжительности работы эти нагрузки относятся к зоне умеренной мощности. Классической дистанцией является марафон. У мужчин высшее мировое достижение в марафоне равно 2 ч 3 мин 59 с. Скорость бега составляет 5,67 м/с. На более коротких дистанциях – приближается к 6 м/с. Специальная скоростная выносливость в беге на сверхдлинные дистанции – это аэробная выносливость к длительной работе. Дефицит кислорода очень небольшой и не превышает 5–10 % от запроса. Во время работы основной ресинтез АТФ-аэробный. Высококвалифицированные спортсмены способны пробегать дистанцию с потреблением кислорода на уровне до 80 % от своих показателей МПК. В аэробных условиях работы в основном используются углеводы и липиды. Углеводные резервы мышц и печени значительно истощаются. После 1–1,5 ч бега преимущественным источником энергии для ресинтеза АТФ остаются липиды. В связи с этим в крови спортсменов значительно возрастает содержание кетонных тел. При чрезмерном утомлении усиливается распад белков и повышается уровень мочевины крови (на 30–50 % и более). Организм спортсмена сильно обезвоживается. Масса тела может понижаться на 2–3 кг и более. Вместе с водой и потом теряется много минеральных веществ, витаминов. Для предотвращения тяжелых последствий при нарушении водно-минерального баланса организма и чрезмерной потере основных источников энергии правилами соревнований предусмотрена организация пунктов питания на дистанции, начиная с 25 км, а затем через каждые 5 км. В этих пунктах спортсмены получают питьевую воду и углеводно-минеральную смесь в виде раствора, содержащую витамины.

Спортивная ходьба – это циклические соревновательные нагрузки с обязательным соблюдением спортивных правил техники ходьбы, ограничивающих возможность перехода спортсмена на бег: наличие двухопорного положения ног, сохранение постоянного контакта с дорожкой, выпрямление опорной ноги в колене в вертикальном положении. В отличие от бега у скороходов отсутствует фаза полета и поэтому значительно сокращена фаза расслабления мышц нижних конечностей в циклах движений. В остальном биологическое действие спортивной ходьбы на функциональные системы и обмен веществ в организме весьма близки к воздействию беговых упражнений на длинных и сверхдлинных дистанциях.

Основными дистанциями в спортивной ходьбе являются соревнования на 5, 10, 20, 30 и 50 км. Из них 5 и 10 км относятся к нагрузкам большой мощности, а 20, 30 и 50 км – к нагрузкам в зоне умеренной мощности

работы. Продолжительность работы в ходьбе на 5 и 10 км составляет 18 мин 45 с – 20 мин и 38 мин 30 с – 42 мин соответственно. Дистанцию 20 км лучшие скороходы мира проходят за 1 ч 19 мин – 1 ч 23 мин, 50 км – за 3 ч 45 мин – 4 ч 10 мин. Скорость ходьбы на 5 и 10 км достигает 4,4–4,3 м/с, в ходьбе на 20 и 50 км – 4,2 и 3,8 м/с, соответственно. Дефицит кислорода во время работы небольшой, как и в марафоне – до 5–10 % от запроса. Условия работы аэробные, однако мышечная деятельность требует больших напряжений, что связано как с особенностями движений, так и с большей продолжительностью соревновательных нагрузок в ходьбе по сравнению с бегом. Основным физическим качеством скороходов, как и в марафоне, является высокий уровень аэробной выносливости к длительной работе. Большие энергозатраты приводят к истощению запасов гликогена в мышцах и печени и более значительному использованию липидов на всей дистанции. Потеря веса тела может достигать 3–5 кг и более. Значительны потери воды, минеральных веществ, витаминов, в крови понижается уровень глюкозы до гипогликемии (<3,3 ммоль/л), повышается уровень кетоновых тел. После дистанций на 20 и 50 км значительно возрастает концентрация мочевины в крови, нередко наблюдается и альбуминурия. Из-за аэробного характера нагрузки уровень лактата возрастает незначительно до 4–5 ммоль/л.

В спортивной ходьбе на 30 и 50 км, как и в марафоне, организуется питание на дистанции.

Лыжные гонки – это соревновательные циклические нагрузки в беге на лыжах по специально проложенным трассам. Наиболее популярными являются дистанции на 5, 10, 15, 20, 30 и 50 км. Дистанции на 5, 10 и 15 км относятся к физическим нагрузкам в зоне большой мощности работы, а на 20, 30 и 50 км – к зоне умеренной мощности работы. Время прохождения дистанции в основном зависит от техники передвижения на лыжах. При передвижении коньковым ходом достигается более высокая скорость бега на лыжах, при использовании классических ходов она заметно ниже. В среднем квалифицированные лыжники пробегают дистанцию 5 км за 13–15 мин, 10 км – за 27–32 мин, 15 км – за 40–45 мин. На дистанции 30 км высокими являются результаты 1 ч 30 мин – 1 ч 45 мин, на дистанции 50 км – 2 ч 45 мин – 3 ч. Официально высшие мировые достижения не фиксируются из-за несопоставимости различных трасс, погодных условий, состояния снежного покрова и многих других причин, влияющих на спортивные результаты гонщиков.

По суммарным энергозатратам и биологическому воздействию на организм лыжные гонки очень близки к бегу и спортивной ходьбе на длинные и сверхдлинные дистанции. Соревновательные нагрузки носят аэробный характер. Дефицит кислорода небольшой. Основное физическое качество – выносливость к длительной работе. Однако и по технике движений, и по условиям соревновательной деятельности имеются существенные отличия, влияющие на обмен веществ во время работы и особенности биохимической адаптации организма к нагрузкам. В частности, лыжные гонки оказывают более значительное воздействие на белковый

обмен, так как в работе участвуют значительные массы мышечной ткани за счет активного использования рук, мышц плечевого пояса и спины. Профили гоночных трасс сложные, с длинными подъемами, крутыми спусками и поворотами. Поэтому у лыжников чаще, чем у бегунов и скороходов наблюдается значительное возрастание мочевины в крови (до 14–16 ммоль/л и более). Спортсмен в связи с этим должен обладать не просто аэробной выносливостью к длительной работе, но и силовой выносливостью.

Для лыжников характерны и более значительные изменения в энергетическом обмене. Это стимулируется и отрицательной температурой воздуха и снежного покрова, пересеченной местностью проложенных трасс, более напряженной работой силового характера всех мышц, участвующих в движении и т. д. К концу дистанции у лыжников также, как у скороходов и марафонцев истощаются запасы гликогена в мышцах и печени, наблюдается гипогликемия, альбуминурия, заметно повышается содержание кетоновых тел в крови и моче. Потери массы тела достигают 3–5 кг на дистанции 50 км. Организм теряет много воды, минеральных веществ, витаминов. Питание на дистанции в марафоне, как и в спортивной ходьбе позволяет частично восполнить эти потери. Вода и углеводно-минеральные смеси в виде растворов подаются подогретыми до оптимальных температур приема пищи.

Техника движений лыжника отличается от бега и спортивной ходьбы не только более активным участием в работе мышц верхней части тела и силовым компонентом работы, но и наличием фазы скольжения на лыжне при отталкивании. Поэтому гонщики, прекрасно владеющие техникой бега на лыжах, имеют возможность более экономно, рационально использовать свой энергетический потенциал. Не менее важен в этом плане и фактор использования высококачественного лыжного инвентаря. Гонимые лыжи высокого класса обеспечивают более длинный прокат лыжи за счет хорошего скольжения.

Плавание – это циклические соревновательные нагрузки, обеспечивающие активное перемещение тела спортсмена в водной среде. Существуют различные способы плавания: кроль, брасс, баттерфляй и др. Наиболее скоростным способом плавания является кроль на груди. При этом способе плавания в работе активно участвуют мышцы рук, плечевого пояса, туловища, ног. Основными дистанциями скоростного плавания являются 50, 100, 200, 400, 800 и 1500 м. Дистанции на 50 и 100 м – короткие (спринт), 200 и 400 м – средние, 800 и 1500 м – длинные (стайерские).

Спринтерские дистанции на 50 и 100 м относятся к кратковременным нагрузкам субмаксимальной мощности. Высокие результаты в плавании на 50 м лежат в пределах 21–25 с, на 100 м – 47,8–55 с. Средние дистанции на 200 и 400 м являются типичными нагрузками субмаксимальной мощности. Длительность плавания на этих дистанциях лежит в пределах 1 мин 46 с – 2 мин и 3 мин 55 с – 4 мин 10 с. Квалифицированные пловцы проплывают дистанцию 800 м из 8 мин, 1500 м – из 15 мин. Эти дистанции относятся к кратковременным нагрузкам в зоне большой мощности работы.

Плавание на короткие и средние дистанции являются преимущественно анаэробными нагрузками. В плавании на 50 и 100 м дефицит кислорода может достигать 80 % от запроса. Спортсмен должен обладать высоким уровнем скоростных и скоростно-силовых качеств. На дистанции 50 м основными энергетическими процессами ресинтеза АТФ являются креатинфосфокиназный (старт и первая половина дистанции) и гликолитический – на второй половине дистанции. На дистанции 100 м лишь в самом начале используется креатинфосфокиназный процесс, а основную часть дистанции обеспечивает гликолитический ресинтез АТФ. Поэтому у пловцов при плавании на дистанцию 100 м уровень лактата в крови всегда выше, чем при плавании на 50 м. При плавании на дистанции 200 и 400 м дефицит кислорода может достигать 50–70 % от запроса. Основным процессом в энергетике мышц является гликолитический ресинтез АТФ. Он достигает максимальной интенсивности к 50-60-й секунде работы и может удерживаться на высоком уровне 2–2,5 мин. В связи с этим при плавании на 400 м уровень лактата в крови может достигать наивысших величин – до 20 ммоль/л и даже более.

Плавание на длинные дистанции 800 и 1500 м относится к нагрузкам преимущественно аэробного характера. Это относительно кратковременные нагрузки в зоне большой мощности работы. Дефицит кислорода составляет около 20-30 % от запроса. В энергетике на основной части дистанции преобладает аэробный процесс. Интенсивность гликолиза заметно ниже, чем на средних дистанциях и уровень лактата в крови обычно не превышает 10–12 ммоль/л. На длинных дистанциях (особенно 1 500 м) значительно усиливается окисление жиров и уровень кетоновых тел достаточно сильно повышается.

При всех видах плавания суммарные энергозатраты организма значительно выше, чем при видах сухопутных соревновательных нагрузок на таких же дистанциях.

По углеводному обмену закономерности сохраняются такими же, как и в других видах спорта при работе в тех же зонах мощности. В плавании на 50, 100 и 200 м уровень глюкозы обычно сохраняется повышенным, при плавании на 400, 800 и 1 500 м снижается, особенно сильно на дистанциях 800 и 1 500 м, вплоть до гипогликемии (<3,3 ммоль/л). На этих же дистанциях развивается наиболее тяжелое утомление организма, усиливается распад белков. В крови спортсменов значительно возрастает содержание мочевины (более 10–12 ммоль/л).

Очень сильное воздействие на обмен веществ в организме пловцов оказывает водная среда. Плотная и вязкая жидкость создает дополнительные сопротивления в работе мышц. Необходим ярко выраженный силовой компонент работы. В воде значительно большая теплоотдача тела, затруднены процессы дыхания, ограничено потоотделение, быстрее накапливаются недоокисленные вещества (лактат, кетоновые тела и др.), быстрее наступает усталость. В плавании в связи с большими

энергозатратами значительно раньше начинают использоваться липиды по сравнению с сухопутными спортивными нагрузками.

15.2. Биохимическая характеристика ациклических видов спорта

Ациклические виды спорта – это виды спорта, в которых соревновательные нагрузки представляют собой завершённые физические упражнения, состоящие из непрерывного ряда неповторяющихся элементов движений. К таким видам спорта относятся: тяжёлая атлетика, метания в лёгкой атлетике (метание молота, толкание ядра, метание диска и копья), прыжки в лёгкой атлетике (в высоту, длину, с шестом, тройной). В некоторых видах этой группы упражнений предварительный разбег следует рассматривать как отдельный неотъемлемый элемент сложного упражнения.

Практически во всех ациклических видах спорта соревновательные нагрузки относятся к зоне максимальной или кратковременной субмаксимальной мощности работы. Как правило, они требуют от спортсмена предельных физических напряжений и максимального проявления скоростно-силовых, мощностных качеств и не могут продолжаться длительное время. Длительность работы колеблется от 3–5 с в тяжёлой атлетике до 10–30 с в видах спорта с элементами разбега. Характер работы по обеспечению организма кислородом анаэробный. Дефицит кислорода может приближаться к максимальным величинам в зоне максимальной мощности (до 80–90 % от запроса).

Общность условий соревновательных нагрузок в этих видах спорта предопределяет общность биохимических изменений в организме при их выполнении и общие закономерности биохимической адаптации при длительной тренировке. Биохимические основы качеств силы мышц и высокой мощности работы (одновременное сочетание силы и быстроты за единицу времени) связаны с максимальным увеличением в мышечной ткани ее АТФ-азной активности, увеличением содержания сократительных белков миофибрилл и развитием миофибриллярных структур в клетках, с максимальным развитием в процессе тренировки анаэробного креатинфосфокиназного процесса ресинтеза АТФ. При длительности работы более 10–12 с к энергетическим процессам начинает активно подключаться гликолиз.

В зависимости от структуры движений в ходе выполнения соревновательного ациклического упражнения эти элементы проявляются по-разному. Однако для конечного результата всегда важно проявление высокой скорости движения, взрывной силы и запаса мощности взрывного усилия. Так, например в метании молота, усилие на тросик при разгоне снаряда может достигать 400–450 кг. В тяжёлой атлетике в весовой категории более 108 кг в толчке результаты достигают 250 кг и более, в рывке – около 200 кг, в двоеборье – 445–450 кг. Прыгуны в длину, тройным и с шестом способны развивать скорость во время разбега, соответствующую результатам 10,2–10,4 с в беге на 100 м. Усилие при выталкивании в прыжках

может достигать 300–350 кг. Приведенные примеры говорят о том, что в процессе тренировки спортсмены должны уделять большое внимание развитию высокого уровня качеств силы и быстроты.

Биохимические изменения в организме при однократном выполнении соревновательных ациклических упражнений по абсолютным величинам относительно небольшие и соответствуют характеристикам зоны максимальной мощности работы. Однако предельные напряжения во время работы требуют высокой концентрации волевых усилий, максимальной мобилизации активности ЦНС, сопровождаются значительным увеличением в крови содержания стрессовых гормонов адреналина, глюкокортикоидов и других.

15.3. Биохимическая характеристика видов спорта с переменной мощностью работы

Виды спорта с переменной мощностью работы – это виды спорта, в которых соревновательная деятельность спортсмена протекает с изменяющейся мощностью работы. Наиболее ярко это проявляется в трех основных группах видов спорта:

1) *игровые виды спорта* – футбол, хоккей, волейбол, баскетбол, гандбол, теннис и др.;

2) *спортивные единоборства* – борьба, бокс, фехтование и др.;

3) *сложно-координационные виды спорта* – гимнастика, акробатика, фигурное катание, синхронное плавание и др.

В игровых видах и в спортивных единоборствах соревновательная деятельность по мощности работы может изменяться непредвиденно в соответствии с реально складывающимися ситуациями во время соревнования.

В сложно-координационных видах спорта изменения в мощности работы заранее регламентируется программой выступления спортсменов.

Для видов спорта с переменной мощностью работы суммарные биохимические изменения в организме определяются величиной средней интенсивности нагрузки за весь период соревновательной деятельности. Часто эти изменения бывают весьма близкими к общей характеристике биохимических особенностей определенной зоны мощности работы. Как правило, чем больше длительность соревновательной нагрузки, тем чаще наблюдаются такие совпадения. Однако с учетом специфики вида спорта, динамики игровых или других действий спортсмена или соперника могут изменяться соотношение аэробных и анаэробных энергетических процессов, эффективность использования основных источников энергии в организме по сравнению с физической нагрузкой такой же продолжительности, но при сохранении стабильной мощности работы.

При нагрузках переменной мощности работы большое значение для проявления биохимических изменений в организме имеет эмоциональное состояние спортсмена, влияние зрителей, тренера, членов команды,

обстановки соревнований, силы и действий соперников и многих других факторов. Поэтому во время кратковременных соревнований, например, в гимнастике, фигурном катании и других, эти воздействия могут оказаться не менее значимыми, чем влияние самого физического упражнения, выполняемого спортсменом. В связи с этим обычной строгой закономерности в биохимической реакции организма на выполненную работу может и не наблюдаться.

При положительных эмоциях в организме сильнее активизируется симпатoadреналовая система, быстрее мобилизуются физиологические функции, в кровь выделяется больше эндорфинов. Поэтому работа даже физически тяжелая выполняется легче, как бы играючи. Отрицательные биохимические изменения в крови по уровню лактата, кетоновых тел, мочевины и другим менее выражены. Организм способен к более быстрому восстановлению как по ходу работы, так и после ее окончания.

При отрицательных эмоциях эти реакции организма выражены недостаточно активно. Работа воспринимается очень тяжело, раньше развивается утомление, наблюдаются неблагоприятные изменения в крови, органах и тканях.