

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	1
I. БИОХИМИЯ СПОРТА	8
Тактика	8
Опыт использования биохимических исследований в практике спорта	7
II. БИОХИМИЯ В ПРАКТИКЕ СПОРТА	11
2.1. Биохимия энергообеспечения	11
2.2. Срочный биохимический контроль в спорте	22
2.3. Биохимия скоростно-силовых качеств	29
2.4. Биохимия выносливости	33
2.5. Биохимия утомления, перенапряжения и восстановления	43
2.6. Биохимия перетренированности (постнагрузочная дезадаптация)	49
2.7. Иммунный статус спортсмена	63
2.8. Гормоны	74
III. БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ	87
3.1. Мышцы: структура, биохимия, повреждения	87
3.2. Клеточные органеллы	102
3.3. Клеточный состав крови	117
3.4. Электролитный состав плазмы крови	126
3.5. Углеводный обмен	147
3.6. Белки плазмы крови	160
3.7. Липидный обмен: триглицериды, фосфолипиды, холестерин	167
3.8. Ферменты	183
IV. БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ДОПИНГОВЫХ СРЕДСТВ	190
Приложения	201
1. Инструкция пациенту перед лабораторным исследованием	201
2. Некоторые правила взятия проб биожидкостей	204
3. Программы медицинского обследования спортсмена	207
Заключение	221
Библиография	223

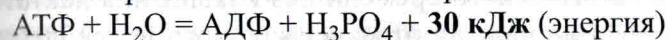
II. БИОХИМИЯ В ПРАКТИКЕ СПОРТА

2.1. БИОХИМИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

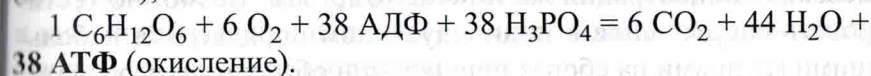
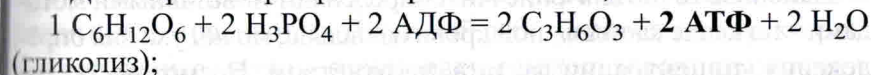
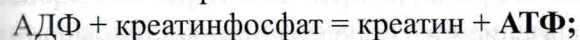
Эффективность тренировочного и соревновательного процессов в конечном счете зависит от обеспеченности энергией мышц и внутренних органов. Тренировочный процесс собственно и состоит в том, чтобы «научить» организм быстро вырабатывать в достаточном количестве, запасать и эффективно потреблять энергетический субстрат. Понимание биохимических процессов способствует более полноценной тренировке и конечному результату. От того, как и чем обеспечен этот процесс, как он контролируется, зависит спортивный результат. Точная коррекция энергетики – невозможная задача без биохимического контроля по физической нагрузке и планировании тренировочного режима, фармакологической поддержке, рациональному питанию.

Если тренировка осуществляется в определенные периоды в одном энергетическом режиме, можно довольно просто ориентироваться на ниже приведенные биохимические показатели энергообеспечения:

1. Универсальный источник энергии – АТФ:



2. Источники ресинтеза АТФ:



Креатинфосфокиназный механизм энергообеспечения

Креатинфосфат (КрФ) в мышцах и активность **креатинфосфокиназного (КФК)** фермента крови в тренированном организме значительно выше, что свидетельствует о повышении возможностей КФК (**алактатного**) механизма энергообразования. То есть безкислородного механизма.

Интенсивный тренировочный процесс приводит к дефициту фосфокреатина, увеличению в крови содержания продуктов обмена КрФ и развитию физического утомления.

Неорганический фосфат. По количеству и по изменению его концентрации в крови можно судить о мощности КФК механизма энергообеспечения и уровне тренированности.

Креатин и креатинин в моче. Обнаружение креатина в моче используется как тест для выявления патологических изменений в мышцах и перетренированности.

Непосредственными источниками креатинфосфатного механизма энергетики являются неорганический фосфор, АДФ, КФК, глюкоза крови.

Гликолитический механизм энергообеспечения

Лактат. Лактатная кривая

Тренировочный процесс и зоны мощности

В спортивной тренировке критерием оценки функциональных возможностей у спортсменов, при развитии качества выносливости, служит анаэробный порог (АнП), соответствующий максимальному уровню нагрузки, который он может поддерживать в течение длительного времени без накопления лактата. АнП выражают в процентах от максимального потребления кислорода (МПК).

Наиболее точно значение АнП определяют инвазивными методами – по капле капиллярной крови из пальца, мочки уха для определения концентрации лактата лактометром. Возможно тестировать спортсменов в индивидуальном порядке или небольшими группами на сборах при наличии обученного персонала.

Диапазон интенсивности нагрузок, применяемых при тренировке, принято разделять на пять основных зон, различающихся по преимущественному воздействию на ту или иную систему энергетического обеспечения организма.

В *первой зоне* для энергетического обеспечения работы преобладает липидный обмен, и уровень молочной кислоты в крови не превышает 2–3 ммоль/л – это аэробная зона. Для тренировочной работы, выполняемой в первой зоне, характерны невысокая скорость, но длительное время ее выполнения. Этот режим работы применяется в большом объеме во время подготовительного периода (равномерное дистанционное), а также на всех других этапах подготовки (для восстановления после напряженной мышечной деятельности).

Вторая зона, где концентрация лактата колеблется в пределах 4 ммоль/л, характеризуется как зона анаэробного порога. Скорость, соответствующая анаэробному порогу, является одним из важнейших показателей, применяемых в качестве критерия управления тренировкой. При превышении скорости в области анаэробного порога начинается быстрый прирост концентрации лактата в крови; такая работа имеет уже анаэробную направленность воздействия. Работа на уровне анаэробного порога приводит к развитию общей выносливости путем увеличения аэробной производительности, оптимизации деятельности сердечно-сосудистой системы. Для этой зоны характерны как равномерное дистанционное прохождение отрезка, так и преодоление с переменной скоростью.

В *третьей зоне*, называемой зоной смешанного аэробно-анаэробного воздействия, уровень лактата в крови колеблется от 4 до 8 ммоль/л. Здесь принято выделять подзону А, где в большей мере преобладают аэробные процессы, и подзону Б (лактат 6–8 ммоль/л), где в значительной мере преобладает безкислородная выработка энергии (анаэробный гликолиз). Применяется наиболее широко в базовом периоде подготовки для развития выносливости. Для такой работы наиболее характерны интервальные методы тренировки с использованием отрезков и дистанций различной длины и непродолжительных интервалов отдыха между повторениями.

В четвертой зоне, с практической целью, где концентрация лактата в крови повышается от 8 ммоль/л до максимума (более 20 ммоль/л), в настоящее время выделяется подзона А (лактат 8–12 ммоль/л) и подзона Б, связанная с максимальным усилением гликолиза. Работа в этой зоне оказывает наибольшее воздействие на организм, вызванное предельным напряжением всех его систем. Здесь применяются повторные методы тренировки с максимальной по интенсивности работой (продолжительностью 1–2 мин) и большими паузами отдыха между повторениями.

Эффективное управление тренировкой спортсмена возможно в том случае, если на каждом этапе подготовки известно, к каким изменениям в организме приводит задаваемый режим тренировки.

Определить интенсивность работы, характерную для каждой зоны, можно с помощью специального теста – с постепенным увеличением скорости прохождения отрезков дистанции и забором проб крови из пальца для определения концентрации лактата после каждого повторения.

На примере плавания покажем тестирование с построением лактатной кривой по зонам энергообеспечения, зависящего от скорости.

От специализации спортсмена выбирается длина дистанции (100 или 200 м) и проводится тестирование по следующей схеме (табл. 1).

Таблица 1

Порядок тестирования по зонам энергообеспечения на примере плавания

№ п/п	Серия – кол-во повторений и длина дистанции, м	Интервал между повторениями, мин	Интервал отдыха между сериями, мин	Интенсивность, % (от лучшего результата)
1	3×100 (200)	1	3	80
2	2×100 (200)	1	3	85
3	1×100 (200)	–	5	90
4	1×100(200)	–	15	95
5	1×100 (200)	–		100

Примечание. Интервал отдыха между сериями как раз и составляет время отбора пробы.

Отметим, что интенсивность определяется по скорости плавания (м/с) в процентах от лучшего результата, характерного для данного периода времени. Пробы крови для определения концентрации лактата забираются после каждой серии на 3-й минуте восстановления (между 2-й и 3-й мин наблюдается максимальное количество лактата в крови). Поскольку в начале теста организму пловца необходимо вработаться, первые серии состоят из 2–3 повторений (по ним вычисляются средние значения скорости плавания в серии). Учитывается, что величина 0,6 ммоль/л характеризует уровень лактата в покое.

Точно так же рассчитываются параметры лактатной кривой пловца-кролиста, специализирующегося на дистанции 200 м. Получают следующие 5 рядов значений скорости плавания и лактата при выполнении упражнения 8×200 м. Скорость плавания в каждой серии рассчитывается путем деления длины дистанции на результат в секундах (для первых двух серий берется усредненный результат).

Полученные значения концентрации лактата откладываются на графике в виде точек (рис. 1). При их соединении получается лактатная кривая, анализ которой дает возможность определить границы названных зон интенсивности. Смысл тестирования заключается в том, чтобы получить ряд значений лактата при увеличивающейся скорости плавания. В результате соединения линией полученных значений лактата имеем эмпирическую кривую. Чтобы наиболее правильно планировать по лактатной кривой величину и направленность нагрузок на выносливость в каждой зоне тренировочного воздействия, необходимо корректно проводить ступенчатый тест. Как известно, лактатная кривая при строго выполненной процедуре тестирования всегда носит экспоненциальный характер.

Но можно по полученным экспериментальным точкам методом наименьших квадратов вычислить теоретическую лактатную кривую, по которой можно определить границы зон интенсивности более точно. Теоретическая зависимость имеет вид экспоненциальной кривой и характеризуется: медленным возрастанием концентрации лактата – при умеренных скоростях плавания и непропорционально быстрым – при околопредельных

скоростях. В итоге на основании полученных при тестировании значений скорости и концентрации лактата можно найти параметры теоретической лактатной кривой и построить ее на графике.

Нанося новые точки на график, строим по ним теоретическую кривую, по которой определяем границы зон интенсивности тренировочных упражнений. Уровень корректности может быть проверен степенью совпадения экспериментальных и теоретических данных.

На рис. 1 приведена схема определения зон мощности работы при анализе лактатной кривой, полученной при проведении теста со ступенчато возрастающей скоростью. Показаны экспериментальные значения лактата и теоретическая кривая, полученная после проведения вычислительных работ. По этой

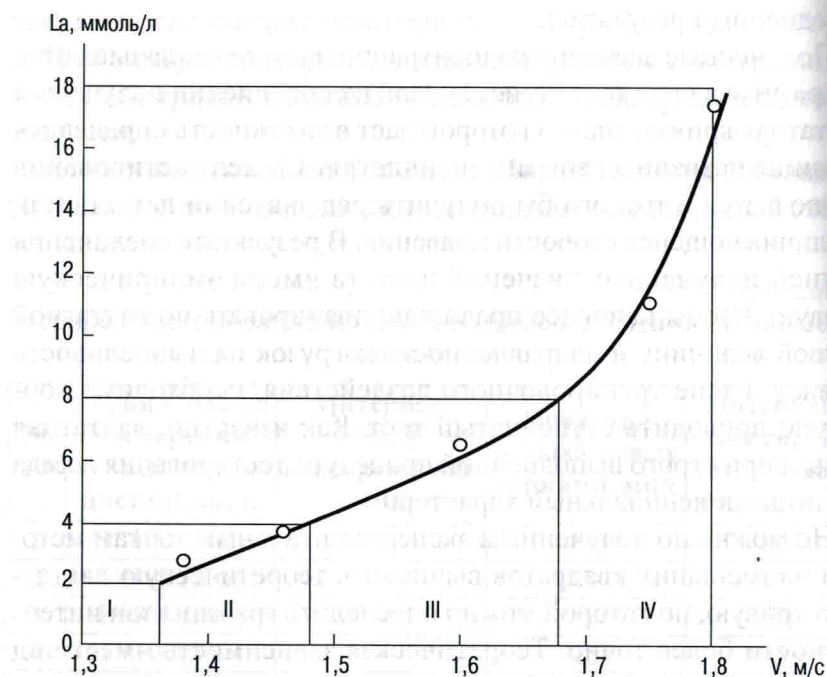


Рис. 1. Зависимость величины лактата от скорости плавания; зоны мощности (обозначены римскими цифрами)

кривой определяются границы зон мощности работы путем проведения перпендикуляров из точек пересечения кривой с уровнями лактата в 2; 4; 8 ммоль/л, а также максимальным значением лактата.

Установлено, что работа на уровне лактата 2–3 ммоль/л не только вызывает усиление липидного обмена, но и приводит к угнетению анаэробных процессов. В связи с этим она является истинно аэробной по своей физиологической направленности. На рис. 1 работа делится на зоны мощности с условными скоростями в м/с. Увеличение скорости плавания означает переход из зоны в зону энергообеспечения — соответственно своим скоростям.

На практике деление на зоны соответственно скоростям носит несколько условный характер, поскольку каждый спортсмен имеет существенные индивидуальные различия как по внутренним биологическим характеристикам (соотношение мышечных волокон различного типа, активность ферментных систем и т.п.), так и по спортивно-технической подготовленности. Следовательно, наиболее информативно может быть многократное тестирование каждого спортсмена в течение сезона, проводимого в стандартных условиях (одним и тем же способом на избранной дистанции плавания). В этом случае динамические наблюдения за изменениями в различных звеньях лактатной кривой дают возможность оценивать сдвиги в состоянии организма под влиянием тренировочных программ.

График лактатной кривой отображает прирост скорости или силы при неизменном уровне порога анаэробного обмена.

На рис. 2 показаны возможные различные варианты изменения скорости плавания в зонах под влиянием той или иной программы тренировки в пределах одного мезоцикла (начало — конец).

Вариант А характерен для этапа подготовки, связанного с работой над повышением выносливости. При правильном построении тренировочного процесса увеличивается скорость плавания на уровне анаэробного порога и меньше изменяется производительность в других зонах.

Вариант Б отражает иную направленность подготовки, применяемую на предсоревновательном этапе. В этом случае мало

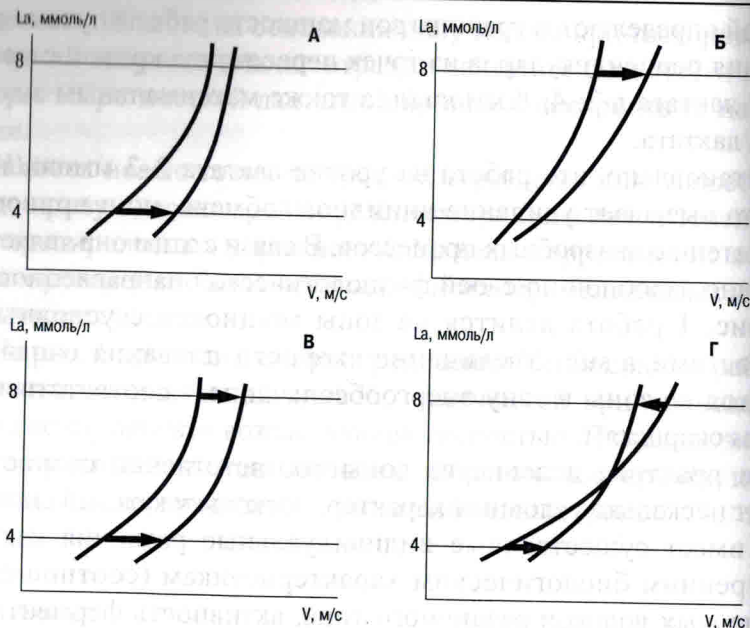


Рис. 2. Варианты лактатных кривых при выполнении тренировочных программ различной направленности

изменяется пороговая скорость, а основной прирост производительности происходит в третьей и четвертой зонах.

Вариант В наблюдается в том случае, если тренировка проводится одновременно в различных зонах воздействия. Правда, такой вариант редкость в практике спортивной тренировки, поскольку работа в разных зонах может не сочетаться между собой.

В варианте Г представлен результат ошибочного тренировочного процесса – по мере закисления, при прохождении дистанции на соревновании, происходит падение скорости, резкое снижение конечного результата. То есть биохимия тренировочного процесса была осуществлена без учета использования утилизации молочной кислоты спортсменом, возможности терпеть ее избыточное количество.

При постоянно высоких показателях лактата крови, определяемых одномоментно, осуществляется более поздний выход на максимальную тренированность на предельных физических нагрузках. Соответствующее отображение получается на лак-

татном графике. В практической работе могут наблюдаться и иные варианты изменения лактатных кривых, системное изучение динамики которых дает возможность тренеру и спортсмену творчески подходить к тренировке. Запоминая ощущения при выполнении разных режимов тренировки с результатами экспресс-анализа лактата, спортсмен может в дальнейшем достаточно точно идентифицировать эти параметры; в результате управление тренировочным процессом осуществляется не по величине проделанной работы, а по приросту функционального состояния.

Отсутствие динамики показателей в нужном направлении свидетельствует о неэффективности тренировочного процесса. Но отсутствие динамики – тоже показатель проделанной работы.

Оценка индивидуальных параметров лактатной кривой, изучение динамики кривых в течение сезона позволяют проводить коррекцию тренировочного процесса, изменять его направленность в соответствии с целями подготовки к основным соревнованиям сезона.

Аналогичным методом проводятся вычисления лактатных кривых, помогающих в тренировочном процессе в других циклических видах спорта.

Также предложено тестировать АНП в естественных тренировочных и соревновательных условиях с использованием *легочной вентилизации и ЧСС*. Однако для соблюдения данной процедуры требуется специальное оборудование и исследовательские навыки, что затрудняет применение этого метода в массовых исследованиях.

Существуют и другие, менее точные методы определения уровней ПАНО при помощи различных гаджетов.

Пироват сыворотки крови – соли пировиноградной кислоты. Они представляют собой конечный продукт метаболизма глюкозы в процессе гликолиза. Одна молекула глюкозы превращается при этом в две молекулы пировиноградной кислоты. Дальнейший метаболизм пировиноградной кислоты возможен двумя путями – аэробным и анаэробным. Пировиноградная кислота выступает в качестве «точки пересечения» многих

III. БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

II. МЫШЦЫ: СТРУКТУРА, БИОХИМИЯ, ПОВРЕЖДЕНИЯ

III.1. Биохимия мышечного сокращения

Функциональная биохимия мышц

Мышечный аппарат человека характеризуется полифункциональностью. Однако основной функцией мышц является осуществление двигательного акта, т.е. сокращение и расслабление. При сокращении мышц осуществляется работа, связанная с преобразованием химической энергии в механическую. Как отмечалось, сократительная система поперечно-полосатой мышцы состоит из перекрывающихся белковых нитей, которые скользят относительно друг друга. Сокращение происходит за счет энергии, освобождающейся при гидролизе АТФ. В поперечно-полосатой мышце сокращение зависит от концентрации ионов Ca^{2+} , которая в свою очередь регулируется саркоплазматическим ретикулумом – органеллой клетки, накапливающей Ca^{2+} в состоянии покоя и высвобождающей его при воздействии на мышечное волокно нервного импульса.

Мышечная ткань человека в среднем составляет 40–42% от массы его тела. У спортсменов в видах спорта, где физическая нагрузка является значительной частью их профессиональной деятельности, этот процент еще выше и составляет по каждому виду спорта свой оптимум.

Динамическая функция мышечной ткани

Основная динамическая функция мышц – обеспечить подвижность путем сокращения и последующего расслабления. При сокращении мышц осуществляется работа, связанная с превращением химической (биохимической) энергии в механическую.

Различают три типа мышечной ткани: скелетную, сердечную и гладкую мышечную ткань.

Существует также деление на поперечно-полосатые и гладкие мышцы. В основном поперечно-полосатые мышцы – скелетные. Миокард морфологически относится к поперечно-полосатому мышечному образованию, но по ряду других признаков он занимает промежуточное положение между гладкими и поперечно-полосатыми мышцами.

Морфологическая организация поперечно-полосатой мышцы

Поперечно-полосатая мышца состоит из многочисленных удлиненных волокон, или мышечных клеток. Двигательные нервы входят в различных точках в мышечное волокно и передают ему электрический импульс, вызывающий сокращение.

Мышечное волокно обычно рассматривают как многоядерную клетку гигантских размеров, покрытую эластичной оболочкой – сарколеммой. Диаметр функционально зрелого поперечно-полосатого мышечного волокна обычно составляет от 10 до 100 мкм, а длина волокна часто соответствует длине мышцы.

В каждом мышечном волокне по длине волокна расположено в полужидкой саркоплазме, нередко в форме пучков, множество нитевидных образований – миофибрилл (толщина этой структурной единицы обычно менее 1 мкм), обладающих, как и все волокно в целом, поперечной исчерченностью. Поперечная исчерченность волокна, зависящая от оптической неоднородности белковых веществ, локализованных во всех миофибриллах на одном уровне, легко выявляется при исследовании волокон скелетных мышц в поляризованном свете фазово-контрастного микроскопа.

Химический состав поперечно-полосатой мышцы

В мышечной ткани человека содержится от 72 до 80% воды. Около 20–28% от массы мышцы приходится на долю сухого остатка, главным образом белков. Помимо белков, в состав сухого остатка входят гликоген и другие углеводы, различные липиды, экстрактивные азотсодержащие вещества, соли органических и неорганических кислот и другие химические соединения.

В саркоплазме мышечных волокон содержатся и ряд других структур: митохондрии, рибосомы, эндоплазматическая сеть и т.д. (см. раздел 3.2. «Клеточные органеллы»).

Экстрагируемые из мышц белки разделены на 3 класса: растворимые в воде, экстрагируемые 8–12% раствором хлорида аммония, и белки, извлекаемые разбавленными растворами кислот и щелочей. В настоящее время белки мышечной ткани делят на три основные группы: саркоплазматические, миофибрилярные и белки стромы. На долю первых приходится около 35%, вторых – 45% и третьих – 20% от всего количества мышечного белка. Эти группы белков резко отличаются друг от друга по растворимости в воде и солевых средах с различной ионной силой.

К группе миофибрилярных белков относятся миозин, актин и актомиозин – белки, растворимые в солевых средах с высокой ионной силой, и так называемые регуляторные белки: тропониин, тропонин, α - и β -актинин, образующие в мышце с актомиозином единый комплекс. Перечисленные миофибрилярные белки тесно связаны с сократительной функцией мышц.

Миозин составляет 50–55% от сухой массы миофибрилл. Толстые нити (толстые миофиламенты) в саркомере надо понимать как образование, полученное путем соединения большого числа определенным образом ориентированных в пространстве молекул миозина.

Актин, составляющий 20% от сухой массы миофибрилл, был открыт Ф. Штраубом в 1942 г. Известны две формы актина: глобулярный актин (G-актин) и фибриллярный актин (F-актин). Молекула G-актина состоит из одной полипептидной цепочки

(глобула), в образовании которой принимают участие 374 аминокислотных остатка. При повышении ионной силы до физиологического уровня G-актин полимеризуется в F-актин (фибрилярная форма). На электронных микрофотографиях волокна F-актина выглядят как две нити бус, закрученных одна вокруг другой.

Актомиозин образуется при соединении миозина с F-актином и обладает АТФазной активностью. Фермент актомиозин активируется ионами Mg^{2+} и ингибируется этилендиаминтетраацетатом (ЭДТА) и высокой концентрацией АТФ, тогда как миозиновая АТФаза ингибируется ионами Mg^{2+} , активируется ЭДТА и не ингибируется высокой концентрацией АТФ. Оптимальные значения pH для обоих ферментов также различны.

Тропонин – глобулярный белок, открытый С. Эбаси в 1963 г. В скелетных мышцах человека тропонин (Тн) составляет лишь около 2% от всех миофибриллярных белков. В его состав входят три субъединицы (Тн-I, Тн-С, Тн-Т). Тн-I (ингибирующий) может ингибировать АТФазную активность, Тн-С (кальцийсвязывающий) обладает значительным сродством к ионам кальция, Тн-Т (тропомиозин-связывающий) обеспечивает связь с тропомиозином. Тропонин, соединяясь с тропомиозином, образует комплекс, названный нативным тропомиозином. Этот комплекс прикрепляется к актиновым филаментам и придает актомиозину скелетных мышц чувствительность к ионам Ca^{2+} . Установлено, что тропонин (его субъединицы Тн-Т и Тн-I) способен фосфорилироваться при участии цАМФ-зависимых протеинкиназ.

Белки стромы в поперечно-полосатой мускулатуре представлены в основном коллагеном и эластином. Известно, что строма скелетных мышц, остающаяся после исчерпывающей экстракции мышечной кашицы солевыми растворами с высокой ионной силой, состоит в значительной мере из соединительнотканых элементов стенок сосудов и нервов, а также сарколеммы и некоторых других структур.

Небелковые азотистые экстрактивные вещества

В скелетных мышцах содержится ряд важных азотистых экстрактивных веществ: адениновые нуклеотиды (АТФ, АДФ и АМФ), нуклеотиды неаденинового ряда, креатинфосфат, креатин, креатинин, карнозин, ансерин, свободные аминокислоты и др. На долю креатина и креатинфосфата приходится до 60% небелкового азота мышц. Креатинфосфат и креатин относятся к тем азотистым экстрактивным веществам мышц, которые участвуют в химических процессах, связанных с мышечным сокращением.

Мышечная ткань и безазотистые вещества

Одним из основных представителей безазотистых органических веществ мышечной ткани является гликоген. Его концентрация в норме колеблется от 0,5 до 2% и выше. На долю других представителей углеводов приходятся десятые и сотые доли процента. В мышцах находят лишь следы свободной глюкозы и очень мало гексозофосфатов. В процессе метаболизма глюкозы, а также аминокислот в мышечной ткани образуются молочная, янтарноградная кислоты и другие карбоновые кислоты.

В том или ином количестве в мышечной ткани обнаруживаются также триглицериды и холестерин.

Состав неорганических солей в мышцах разнообразен. Из катионов больше всего калия и натрия. Калий сосредоточен главным образом внутри мышечных волокон, а натрий – преимущественно в межклеточном веществе. Значительно меньше в мышцах магния, кальция и железа. В мышечной ткани содержится ряд микроэлементов: кобальт, алюминий, никель, бор, цинк и др.

Некоторые особенности химического состава сердечной мышцы и гладкой мышечной ткани

Сердечная мышца по содержанию ряда химических соединений занимает промежуточное положение между скелетной мускула-