



БИОХИМИЯ МЫШЦ

Мышечная ткань составляет 40–42% от массы тела. Основная динамическая функция мышц — обеспечить подвижность путем сокращения и последующего расслабления. При сокращении мышц осуществляется работа, связанная с превращением химической энергии в механическую.

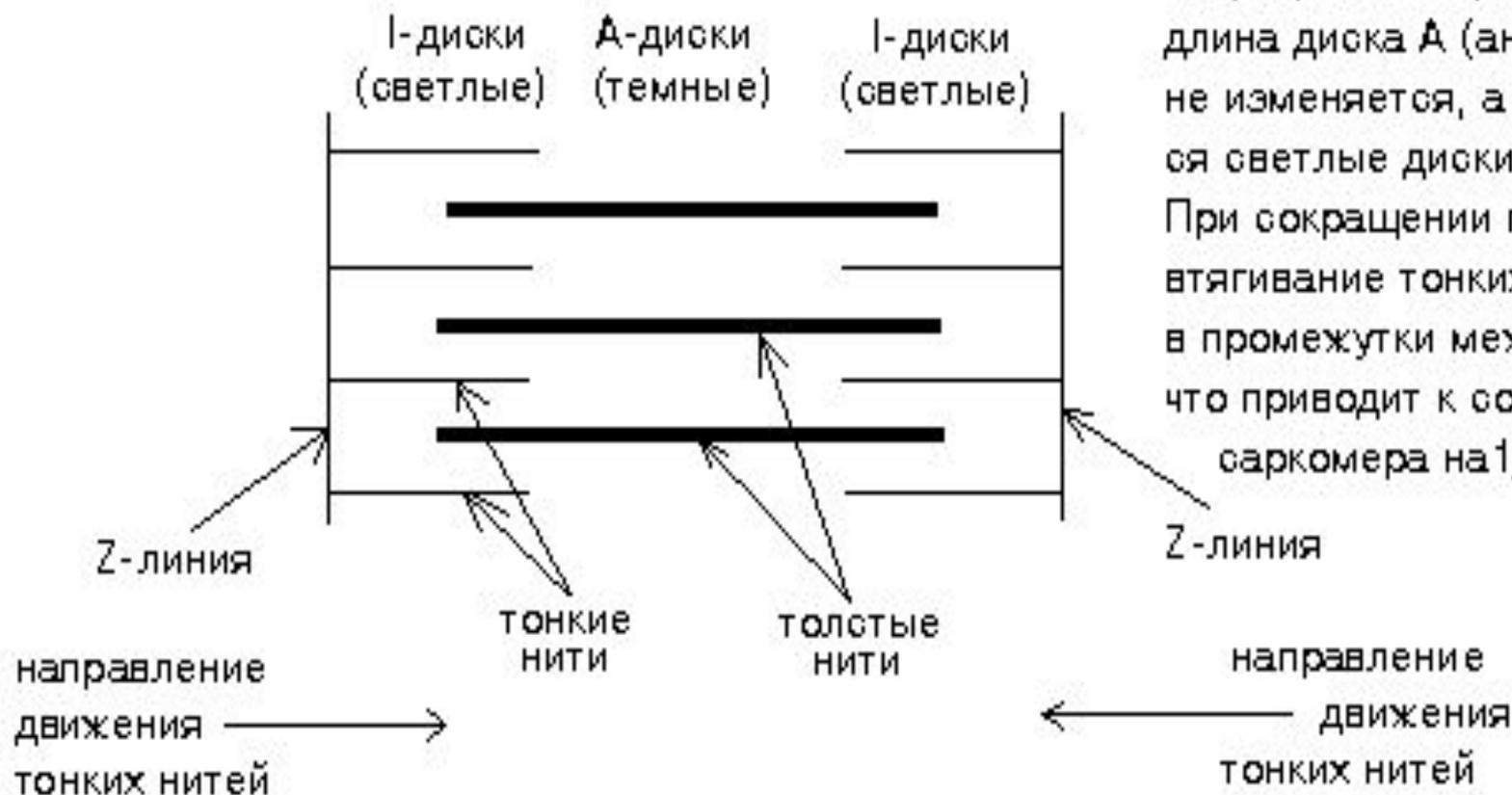
Различают три типа мышечной ткани: скелетную, сердечную и гладкую мышечную ткань.



Существует также деление на гладкие и поперечно-полосатые мышцы. К поперечно-полосатым мышцам, помимо скелетных, относятся мышцы языка и верхней трети пищевода, внешние мышцы глазного яблока и некоторые другие. Морфологически миокард относится к поперечно-полосатой мускулатуре, но по ряду других признаков он занимает промежуточное положение между гладкими и поперечно-полосатыми.

Поперечно-полосатая мышца состоит из многочисленных удлинённых 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. Функциональная единица – **САРКОМЕР** – участок миофибриллы, границами которого служат узкие Z-линии. Каждая миофибрилла состоит из нескольких сот саркомеров.

Схема строения саркомера



В процессе сокращения длина диска А (анизотропного) не изменяется, а укорачиваются светлые диски I.

При сокращении происходит втягивание тонких нитей в промежутки между тонкими, что приводит к сокращению саркомера на $1/3$ его длины.



В дисках А расположены толстые нити, состоящие из белка миозина, и тонкие нити, состоящие, как правило, из второго компонента актиномиозиновой системы — белка актина.



ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТЫХ МЫШЦ МЛЕКОПИТАЮЩИХ (средние значения)

Компонент	В процентах от сырой массы	Компонент	В процентах от сырой массы
Вода	72-80	креатинин	0,003-0,005
Плотные вещества	20-28	АТФ	0,25-0,40
В том числе:		карнозин	0,2-0,3
белки	16,5-20,9	карнитин	0,02-0,05
гликоген	0,3-3,0	ансерин	0,09-0,15
фосфолипиды	0,4-1,0	свободные	
холестерин	0,06-0,2	аминокислоты	0,1-0,7
креатин + креатин-фосфат	0,2-0,55	молочная кислота	0,01-0,02
		зола	1,0-1,5

МЫШЕЧНЫЕ БЕЛКИ

Делят на три основные группы:
саркоплазматические (35%), миофибриллярные (45%) и белки стромы (20%).

Белки, входящие в состав саркоплазмы,
относятся к протеинам, растворимым в солевых средах с низкой ионной силой: миоген, глобулин X, миоальбумин, миоглобин. Миоглобин способен связываться с кислородом (в соотношении 1:1)

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

Миозин – 60-70% от общего белка мышц. Компонент толстых нитей миофибрилл. Обладает ферментативной активностью: расщепляет АТФ. «Головки» молекулы миозина являются участками, где химическая энергия АТФ трансформируется в механическую энергию.

- **Актин** – 20-25% от общего белка мышц. Существует в глобулярной (G-актин) и фибриллярной (F-актин) формах. F-актин – продукт полимеризации G-актина.
- **Актомиозин** – комплекс актина и миозина, основной сократительный белок мышечной ткани. Обладает АТФазной активностью. Взаимодействие актомиозина с АТФ – основа мышечного сокращения.

- **Белки стромы** 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:

адениновые нуклеотиды (АТФ, АДФ и АМФ), 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.

- Карнозин и ансерин – специфические азотистые вещества скелетной мускулатуры позвоночных. Они увеличивают амплитуду мышечного сокращения, предварительно сниженную утомлением.
- Среди свободных аминокислот в мышцах наиболее высока концентрация глутаминовой кислоты (до 1,2 г/кг) и ее амида глутамина (0,8–1,0 г/кг).

Безазотистые вещества

- Одним из основных представителей безазотистых органических веществ мышечной ткани является гликоген. Его концентрация колеблется от 0,3 до 2% и выше. В мышцах находят лишь следы свободной глюкозы и очень мало гексозофосфатов.
- 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.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СЕРДЕЧНОЙ МЫШЦЫ И ГЛАДКОЙ МУСКУЛАТУРЫ

- Сердечная мышца вдвое беднее на креатин и АТФ, имеет стабильное содержание гликогена, больше фосфатидов, глутаминовой кислоты и глутамина.
- В гладкой мускулатуре много актомиозина, креатина, АТФ.

ИСТОЧНИКИ ДЛЯ РЕСИНТЕЗА АТФ:

1. Специальные реакции субстратного фосфорилирования.
2. Гликолиз, гликогенолиз.
3. Окислительное фосфорилирование.

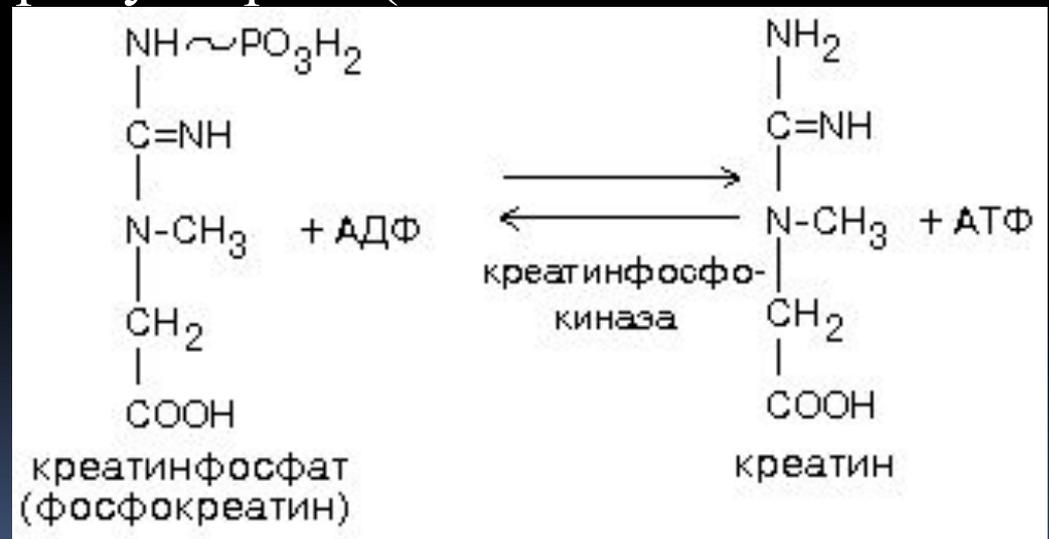


Специальные реакции субстратного фосфорилирования

1. Креатинфосфокиназная реакция:

Это самый быстрый способ ресинтеза АТФ. Запасов креатинфосфата хватает для обеспечения мышечной работы в течение 20 секунд. Максимально эффективен. Не требует присутствия кислорода, не дает побочных нежелательных продуктов, включается мгновенно. Его недостаток - малый резерв субстрата (хватает только на 20 секунд работы).

Обратная реакция может протекать в митохондриях с использованием АТФ, образовавшейся в процессе окислительного фосфорилирования.



- 2) Миокиназная реакция.

Протекает только в мышечной ткани!



- Реакция катализируется миокиназой (аденилаткиназой). Главное значение этой реакции заключается в образовании АМФ - мощного аллостерического активатора ключевых ферментов гликолиза, гликогенолиза.

Гликолиз, гликогенолиз

- Не требуют присутствия кислорода (анаэробные процессы). Обладают большим резервом субстратов. Используется гликоген мышц (2% от веса мышцы) и глюкоза крови, полученная из гликогена печени.

Недостатки:

- 1) Небольшая эффективность: 3 АТФ на один глюкозный остаток гликогена.
- 2) Накопление недоокисленных продуктов (лактат).
- 3) Гликолиз начинается не сразу - только через 10-15 секунд после начала мышечной работы.

Окислительное фосфорилирование

Преимущества:

- 1. Это наиболее энергетически выгодный процесс - синтезируется 38 молекул АТФ при окислении одной молекулы глюкозы.
- 2. Имеет самый большой резерв субстратов: может использоваться глюкоза, гликоген, глицерин, кетоновые тела.
- 3. Продукты распада (CO_2 и H_2O) практически безвредны.
- Недостаток: требует повышенных количеств кислорода.

Механизм мышечного сокращения

- 1) миозиновая «головка» может гидролизовать АТФ до АДФ и H_3PO_4 (Pi), но не обеспечивает освобождения продуктов гидролиза. Поэтому данный процесс носит скорее стехиометрический, чем каталитический, характер;
- 2) содержащая АДФ и H_3PO_4 миозиновая «головка» может свободно вращаться под большим углом и (при достижении нужного положения) связываться с F-актином, образуя с осью фибриллы угол около 90° ;
- 3) это взаимодействие обеспечивает высвобождение АДФ и H_3PO_4 из актин-миозинового комплекса. Актомиозиновая связь имеет наименьшую энергию при величине угла 45° , поэтому изменяется угол миозина с осью фибриллы с 90° на 45° (примерно) и происходит продвижение актина (на 10–15 нм) в направлении центра саркомера;

- 4) новая молекула АТФ связывается с комплексом миозин–F-актин;
- 5) комплекс миозин–АТФ обладает низким сродством к актину, и поэтому происходит отделение миозиновой (АТФ) «головки» от F-актина. Последняя стадия и есть собственно расслабление, которое отчетливо зависит от связывания АТФ с актин-миозиновым комплексом. Затем цикл возобновляется.

Биохимический цикл мышечного сокращения

