

### Химический состав мышц

В мышечной ткани взрослого человека 72 -- 80% воды, 16 -- 21% белка, 3 -- 4% небелковых веществ: углеводов, липидов, экстрактивных азотсодержащих веществ, солей органических и неорганических кислот и других химических соединений.

Белки. Основными функциями мышечных белков: структурная, регуляторная (бикиензимы) и сократительная. В мышечной ткани различают следующие белки: Белки мышц различаются растворимостью в воде и солевых растворах.

Белки сарколеммы: липопротеины, коллаген и эластин. Они нерастворимы в воде, обеспечивают эластичность, прочность и избирательную проницаемость сарколеммы для ионов и других веществ. При мышечного сокращения эластин и коллаген формируют в сарколемму упругие силы, которые при расслаблении возвращают мышечную клетку к предыдущей формы и размера.

Белки саркоплазмы растворимые в воде и слабых солевых растворах. Их разделяют на альбумины и глобулины. Альбумины основном представлены ферментами гликолиза, КФК, глобулины -- ферментами и запасными белками, которые во время тренировки способны превращаться в сократительные белки миофибрилл. К саркоплазматического белкам относят также хромопротеины миоглобин, который депонирует кислород в мышечной ткани.

Белки ядер экстрагируют из мышечной ткани щелочными растворами, относятся к нуклеопротеидов, участвуют в сохранении и реализации генетической информации.

Белки митохондрий представлены ферментами цикла лимонной кислоты, дыхательной цепи, окисления жирных кислот.

Белки миофибрилл -- это сократительные белки: миозин, актин, актомиозин. Они растворяются в солевых растворах с высокой ионной силой. В группу миофибриллярных белкам относят также регуляторные белки -- тропомиозин, тропонин, б и в-актинины, которые создают единый комплекс с актомиозин. Все вышеназванные белки участвуют в мышечном сокращении.

Миозин -- фибриллярный сократительный белок мышц, доля которого составляет 55% общего количества всех мышечных белков. Он образует толстые протофибрилл -- миофиламенты -- путем соединения большого числа определенным образом ориентированных в пространстве молекул миозина. В молекуле миозина различают сильно вытянутую в длину фибриллярную часть и глобулярную «головку».

Фибриллярная часть миозина имеет двуспиральной структуру. Молекула миозина складывается из шести субъединиц: двух тяжелых полипептидных цепей и четырех легких, расположенных в глобулярных головке.

Тяжелые цепи образуют длинную закрученную бспираль -- «хвост» молекулы. Конец каждого тяжелой цепи вместе с легкими цепями образует глобулу -- головку молекулы, способную соединяться с актином.

Фибриллярная часть миозина с помощью слабых связей образует толстые протофибриллы. Стержни молекул спонтанно взаимодействуют между собой «конец в конец», «бок о бок», при этом головки остаются свободными.

Легкие цепи миозина, образуют головку, гетерогенные по составу, их емкость зависит от вида животных и типа мышц. На «головке» молекулы миозина расположены:

-- Актинсвязывающий центр -- обеспечивает взаимодействие с актиновыми филаментами;

-- Активный центр фермента АТФазы -- за счет него миозин гидролизует АТФ:  
 $ATP + H_2O > ADP + P_n$

Миозин вместе с другими аминокислотами содержит много остатков цистеина, глутамату, лизина, лейцина. Цистеин -- донор свободных сульфгидрильных групп (SH), которые участвуют в формировании головок миозина. В пространстве между головками к молекуле миозина с помощью ионов  $Mg^{++}$  прикреплены ионы АТФ, которые в состоянии покоя заряжены отрицательно (АТФ<sup>-</sup>).

При мышечного сокращения миозин выполняет две функции:

1. Сократительной -- образует с молекулами актина актомиозиновый комплекс, способный выполнять механическую работу.
2. Регуляторную -- регулирует расщепление АТФ посредством миозиновой АТФазы. Благодаря этому химическая энергия АТФ трансформируется в механическую работу мышц.

Актин образует тонкие протофибриллы, существует в двух, способных переходить друг в друга, формах: глобулярный (Гактин) и фибриллярный (Фактин). Молекула Гактину состоит из одной полипептидной цепи, содержащий 374 аминокислотные остатки. При мышечного сокращения при наличии  $K^+$  и  $Mg^{++}$  происходит нековалентная полимеризация Гактину и он превращается в нерастворимый Фактин. Последний легко присоединяется к миозина. Волокна Фактину похожи на две нити ожерелья, закрученные одна вокруг другой.

Обе формы актина ферментативно неактивны. Каждая молекула Гактину связывает один ион  $Ca^{++}$ , что участвует в инициации мышечного сокращения. Кроме того, Гактин связывает одну молекулу АТФ или АДФ. Звязывания АТФ из Гактином сопровождается его полимеризацией и образованием Фактину и одновременным расщеплением АТФ:



Фактин стимулирует АТФазу миозина, создает движущую силу для процесса сокращения. В состоянии покоя активные центры актина содержат отрицательно заряженные ионы АДФ. В покое миозин и актин между собой не взаимодействуют. Актомиозин образуется при соединении миозина с Фактином. Молярное соотношение актин: миозин в составе актомиозинового комплекса 1:1. Нить Фактину способна связывать большое количество молекул миозина. Актомиозиновый комплекс диссоциирует при наличии АТФ и ионов  $Mg^{2+}$ . Актомиозину присуща АТФазная активность, которая отличается от такой миозина:

-- Ферменты имеют разные оптимальные значения pH;

-- Эндомиозин активируется ионами  $Mg^{2+}$  и ингибируется этилендиаминтетраацетатом (ЭДТА) и АТФ;

-- АТФазная активность миозина ингибируется ионами  $Mg^{2+}$ , активируется ЭДТА, НЕ ингибируется АТФ;

-- АТФазная активность миозина значительно возрастает при наличии фактина.

Внутри миофибриллы молекулы миозина и актина расположены в определенном порядке: толстые протофибриллы сортируются и свободно лежат в матриксе миофибриллы, многократно повторяясь по ее длине.

Внутри толстых нитей есть небольшое вздутие в обе стороны, от которого расположены головки миозина, содержащих сульфгидрильные группы. Концы толстых нитей с обеих сторон заходят в зону тонких нитей на  $1/3$  их длины. Тонкие нити также лежат сортируются, многократно повторяясь по длине миофибриллы, однако посередине они пересечены мембраной (Z), что соединяет их между собой и прикреплена с обеих сторон до оболочки миофибриллы. Расстояние между двумя ближайшими мембранами -- это саркомер).

Тропомиозин и тропонин -- водорастворимые фибриллярные белки с регуляторными функциями. Особенно много их в гладких мышцах. При отсутствии ионов кальция они блокируют связывание миозина с актином.

Тропомиозин (Тм) -- фибриллярный белок актиновых нити, состоящий из двух биспиралей и имеет вид стержня длиной 40 нм, что обвивает актиновые нити. В тонкой нити на одну молекулу тропомиозина приходится семь молекул фактина.

Тропомиозин располагается в желобках между двумя спиральями фактина.

Тропомиозин соединяется «конец в конец» в непрерывную цепочку. Молекула тропомиозина закрывает активные центры связывания на поверхности глобул актина. На концах каждой молекулы тропомиозина расположены белки тропониновой системы, характерна только для поперечнополосатых мышц. На долю тропомиозина приходится 4 -- 7% всех белков миофибрилл.

Тропонин (Тн) -- это глобулярный белок, доля которого в скелетных мышцах составляет около 2% от всех миофибриллярных белков. Он располагается на тропомиозине с равными промежутками, длина которых равна длине молекулы тропомиозина. Тропомиозин состоит из трех субъединиц:

ТнI (ингибирующее) -- ингибиторная субъединица (ложный ингибитор). Он создает пространственное препятствие, мешающее взаимодействию актина с миозином в момент, когда тропонин С связан с  $Ca^{++}$ . Мышечный белок сокращения

ТнС (кальцийсвязывающий) --  $Ca^{++}$  связывающий протеин вроде кальмодулина. Он связывает четыре иона кальция. При наличии кальция меняется конформация тропонина С, что приводит к изменению положения тропонина Т относительно актина, в результате чего открывается центр взаимодействия актина с миозином.

ТнТ (тропомиозинсвязывающий) обеспечивает связь тропонина с тропомиозином. Через ТнТ конформационные изменения тропонина передаются на тропомиозин.

Тропонин, соединяясь с тропомиозином, образует тропомиозиновый комплекс, который прикрепляется к актиновым филаментам и предоставляет актомиозину скелетных мышц чувствительность к ионам  $Ca^{++}$ .

Таким образом, тонкий филамент миофибриллы поперечно мышц состоит из Фактину, тропомиозином, трех тропонинов компонентов -- ТНС, тные, ТНТ28). Кроме белков, в состав мышц входят азотистые небелковые вещества, безазотистые органические вещества и минеральные соли.

Азотистые небелковые вещества

Азотистые небелковые вещества представлены в мышцах:

- \* креатином, из которого образуется креатинфосфат. Эти соединения составляют 60% небелкового азота мышц;

- \* креатинина -- продуктом катаболизма креатинфосфата и креатина;

- \* нуклеотидами -- АТФ, АДФ, АМФ и др.;

- \* специфическими дипептидами ансерин и карнозин:

Карнозин (валанил-гистидин) Ансерин (N-метилкарнозин)

Карнозин и ансерин увеличивают амплитуду мышечного сокращения, которая предварительно была снижена утомлением, путем повышения эффективности работы ионных насосов мышечной клетки;

- \* трипептидом глутатионом;

- \* свободными аминокислотами, из которых преобладают глутаминовая кислота и глутамин, участвующего в обезвреживании и транспорте аммиака;

- \* фосфолипидов мембран: фосфатидилхолина, фосфатидилсерина, фосфатидилэтаноламин и др.;

- \* другими азотистыми соединениями, которые являются промежуточными или конечными продуктами азотистого обмена и находятся в мышечной ткани в небольшом количестве: мочевины, мочевая кислота, аденин, гуанин, ксантин, гипоксантин.

Безазотистые органические вещества мышц

Безазотистые органические вещества мышц представлены углеводами и липидами.

Среди внутримышечных углеводов преобладает гликоген -- до 2%, свободная глюкоза -- встречается только в следовых концентрациях, незначительное количество промежуточных продуктов углеводного обмена -- глюкозофосфатив, фруктозофосфатив, пировиноградной кислоты, лактата и других карбоновых кислот. Углеводы обеспечивают работу мышц в условиях дефицита кислорода.

На долю липидов приходится около 1% мышечной массы. Они представлены триацилглицеролов, холестерина, свободными жирными кислотами, фосфолипидами. Липиды используются как строительный и энергетический материал. Их окисление происходит только при достаточном обеспечении мышц кислородом.

Минеральные соли в мышцах

Минеральные соли составляют от 0,1 до 1,5% мышечной массы и представлены различными ионами. С катионов преобладают  $K^+$ ,  $Na^+$ , в меньшем количестве --  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Fe^{3+}$ . Анионы представлены  $PO_4^{3-}$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ , а также анионами органических кислот (молочной, лимонной, уксусной и других). Мышечная ткань содержит также микроэлементы: кобальт, алюминий, никель, бор, цинк и другие.

Химический состав мышц изменяется в зависимости от возраста, типа ткани, физической нагрузки.

В эмбриональной мышечной ткани по сравнению со зрелой больше воды, белков стромы, ДНК, РНК, нуклеопротеинов, в ней меньше миофибриллярных белков -- актина и актомиозина, низкая концентрация АТФ, креатинфосфата, присутствуют дипептиды ансерин и карнозин. В процессе развития эмбриона количество миофибриллярных белков растет, повышается их АТФазная активность, однако уменьшается содержание нуклеопротеидов и нуклеиновых кислот. Ансерин и карнозин появляются по мере развития мышечной функции -- появлением двигательных рефлексов,  $Ca^{++}$  чувствительности актомиозину, началом работы ионных насосов и др.. В процессе развития эмбриональной мышечной ткани изменяется ее изоферментный спектр -- активность лактатдегидрогеназы (ЛДГ), гексокиназы и других энзимов. В первые месяцы развития эмбриона в скелетных мышцах преобладают изоферментные ЛДГ2, ЛДГ3, по мере развития постепенно возрастает активность ЛДГ4, ЛДГ5.

По химическому составу сердечной и гладкие мышцы несколько отличаются от скелетных. У них значительно меньше миофибриллярных белков, но большая концентрация белков стромы. Кроме того, миозин, тропомиозин и тропонин сердечной мышцы и гладкой мускулатуры значительно отличаются по своим физико-химическим свойствам от аналогичных белков скелетных мышц.

Саркоплазма гладкой мускулатуры и миокарда содержит более миоальбумин. По химическому составу сердечную мышцу занимает промежуточное положение между скелетными и гладкими. Содержание АТФ, гликогена в нем ниже, чем в скелетной, и выше, чем в гладкой мускулатуре. В сердечной и гладких мышцах найдены лишь следы ансерина и карнозина. Миокард отличается от других мышц значительным содержанием фосфолипидов.