



# Биохимические сдвиги в организме при мышечной работе

Калиман Николай Александрович

- 
- При выполнении физической нагрузки в организме повышается скорость катаболических процессов, сопровождающихся выделением энергии в виде АТФ, при одновременном снижении скорости анаболизма, потребляющего значительное количество АТФ.
  - Такое изменение направленности метаболизма приводит к улучшению энергообеспечения работающих мышц, к повышению мощности и продолжительности работы.
  - Необходимая перестройка метаболизма происходит по воздействию нервно-гуморальной регуляции, сложившейся в процессе эволюции как способ создания мышцам оптимальных условий для сократительной функции.



# Основные механизмы нервно-гуморальной регуляции мышечной деятельности



Улучшение обеспечения организма кислородом

Увеличение легочной вентиляции

Увеличение частоты дыхания и расширение бронхов

Улучшение снабжения органов кислородом и питательными веществами

Увеличение скорости кровотока

Увеличение ЧСС

Расширение кровеносных сосудов в мышцах

При мышечной работе повышается тонус симпатического отдела ВНС

Усиленное потоотделение

Снижение кровоснабжения почек, уменьшение диуреза

Замедление перистальтики кишечника, снижение скорости кровообращения, ухудшение процессов всасывания пищи

Освобождение организма от избыточной тепловой энергии

Выход жира из жировых депо, повышение энергообеспечения мышц

Сужение сосудов ЖКТ, почек, кожи)

Увеличение частоты дыхания и расширение бронхов

Увеличение ЧСС, силы сердечных сокращений.

Расширение сосудов в органах, обеспечивающих мышечную деятельность (мышцы, мозг, миокард, легкие, печень)

Дублируют действие симпатических импульсов

Выделение катехоламинов (гормоны мозгового слоя надпочечников – **адреналин**, норадреналин). Биологические эффекты сходны с действием симпатической нервной системы.

Ускоряется распад гликогена в печени до глюкозы, выход глюкозы в кровь. У спортсменов гипергликемия может возникать еще до начала мышечной работы в предстартовом состоянии

Как источник энергии в мышцах и миокарде

Ускорение фермента липаза в жировой ткани, ускорение расщепления жира на глицерин и жирные кислоты

Усиление распада гликогена в мышцах без образования свободной глюкозы, а с образованием молочной кислоты или углекислого газа и воды в зависимости от интенсивности работы

Синтез глюкозы из глицерина в печени – глюконеогенез, жирные кислоты превращаются в кетоновые тела

Тормозят использование глюкозы клетками, что приводит к ее накоплению в крови, за исключением мозга в связи с наличием ГЭБ

Тормозят анаболические процессы, в первую очередь синтез белка, т.к. анаболические процессы энергоемкие

Выделение глюкокортикоидов (гормоны коркового слоя надпочечников)

Стимулирование глюконеогенеза в печени – синтеза глюкозы из аминокислот, глицерина, молочной кислоты  
Важно поддержание достаточного уровня глюкозы в первую очередь для работы мозга

## Изменения в скелетных мышцах при выполнении физической работы

- Снижение концентрации креатинфосфата и накопление креатина.
- Снижение концентрации гликогена в мышцах, накопление молочной кислоты при интенсивной работе, повышение кислотности, т.е. снижение pH.
- Увеличение лактата в мышечных клетках приводит к увеличению осмотического давления в клетках, вследствие чего в миоциты поступает вода и развивается набухание мышц («забитость мышц»). Также приводит к уменьшению ферментативной активности мышечных клеток
- При работе в зоне аэробных нагрузок происходит плавное уменьшение гликогена без накопления лактата.
- Повышение скорости распада белков, особенно при выполнении силовых упражнений. Затрагивает в первую очередь сократительные белки, входящие в состав миофибрилл. Вследствие этого в мышцах повышается содержание свободных аминокислот и продуктов их последующего расщепления – кетокислот и аммиака.
- Мышечная деятельность может привести к повреждениям внутриклеточных структур: миофибрилл, митохондрий, мембран.

## Особенности процессов в головном мозге при выполнении мышечной работы

- Увеличение потребления мозгом кислорода в связи с формированием и передачей нервного импульса, необходимого для сокращения мышц, которое происходит с затратами АТФ.
- Основной субстрат окисления для нервных клеток: глюкоза, поступающая с током крови. Образование АТФ происходит аэробным путем
- У спортсменов любое нарушение мозгового кровообращения может приводить к снижению функциональной активности головного мозга, что может проявляться в форме головокружений или обморочных состояний.

# Изменения в миокарде при выполнении мышечной работы

- Энергообеспечение сердечной мышцы осуществляется за счет аэробного ресинтеза АТФ (при ЧСС <200 уд/мин). Анаэробные процессы включаются при ЧСС более 200 уд/мин.
- В сердечной мышце, в отличие от скелетных более густая сеть капилляров и содержится больше митохондрий, что дает большие возможности для аэробного энергообеспечения.
- В качестве источников энергии миокард использует глюкозу, жирные кислоты, кетоновые тела, глицерин. Собственные запасы гликогена практически не используются, они необходимы, как источник энергии при истощающих нагрузках.
- Во время интенсивной работы миокард извлекает из крови лактат и происходит его окисление до углекислого газа и воды. При этом в крови снижается концентрация молочной кислоты, что ведет к нормализации кислотно-щелочного равновесия. При окислении 1 молекулы молочной кислоты образуется до 18 молекул АТФ.
- Использование лактата в качестве источника энергии позволяет дольше поддерживать в крови необходимую концентрацию глюкозы, что очень существенно для **энергообеспечения нервных клеток**, для которых глюкоза почти единственный источник энергии.

# Изменения в печени при выполнении мышечной работы

- Под воздействием адреналина повышается скорость глюконеогенеза: распада гликогена до свободной глюкозы с выходом в кровь и развитием гипергликемии.
- Клетки печени активно извлекают жир и жирные кислоты (их концентрация в крови возрастает вследствие мобилизации жира из жировых депо), подвергают гидролизу жиры с образованием глицерина и жирных кислот. Далее жирные кислоты путем  $\beta$ -окисления расщепляются до ацетил-КоА, из которого образуются кетоновые тела (ацетоуксусная и  $\beta$ -оксимасляная кислоты). Кетоновые тела переносятся с током крови в работающие органы, превращаются в ацетил-КоА, который поступает в цикл Кребса, окисляется до углекислого газа и воды с выделением энергии.
- Глюкокортикоидами инициируется глюконеогенез: синтез глюкозы из глицерина, аминокислот, лактата с затратами АТФ. Обычно протекает при длительной работе, благодаря глюконеогенезу поддерживается необходимый уровень глюкозы.
- Усиливается распад мышечных белков с образованием аминокислот и дальнейшим дезаминированием до аммиака, который далее в печени обезвреживается и превращается в мочевину. Обезвреживание аммиака требует затрат АТФ. **При истощающих нагрузках, не соответствующих функциональному состоянию организма, печень может не справиться с обезвреживанием аммиака, в этом случае возникает интоксикация организма, ведущая к снижению работоспособности.**

# Изменения в крови при выполнении мышечной работы

- Изменение химического состава крови является отражением тех сдвигов, которые возникают при мышечной деятельности в различных внутренних органах.
- Изменения состава крови зависят от характера мышечной работы, поэтому анализ стоит проводить с учетом мощности и продолжительности выполняемой работы.
- Повышение концентрации белков из-за: 1) усиленного потоотделения, снижения содержания воды в плазме крови и, следовательно, ее сгущения, 2) повреждения клеточных мембран, выхода внутриклеточных белков через поврежденные мембраны.
- При очень продолжительной работе возможно снижение концентрации белков плазмы, в связи с тем, что часть белков переходит в мочу, а другая часть используется в качестве источника энергии.
- Фазное изменение концентрации глюкозы крови. В начале нагрузки концентрация повышается, при длительной работе снижается, т.к. запасы гликогена истощаются.
- Повышение концентрации лактата. Наблюдается практически при любой спортивной деятельности, степень возрастания концентрации лактата зависит от характера выполняемой работы и тренированности. Наибольший подъем лактата обнаруживается при выполнении нагрузок в зоне субмаксимальной мощности.

- До работы содержание лактата 1-2 ммоль/л. После работы «до отказа» в зоне субмаксимальной мощности у спортсменов средней квалификации повышается до 8-10 ммоль/л, спортсменов высших достижений до 18-20 ммоль/л, в особых случаях до 30-32 ммоль/л. Забор крови следует проводить через 5 мин после нагрузки. В более поздние сроки часть лактата извлекается из кровяного русла клетками миокарда и печени.
- Повышение кислотности крови. Вначале повышения не происходит! Т.к. первые порции лактата нейтрализуются буферными системами крови. Повышение лактата крови наступает после исчерпания буферной емкости крови. При нагрузках субмаксимальной мощности у спортсменов средней квалификации рН снижается до 7,1-7,2, у спортсменов высших достижений возможно снижение до 6,8.
- При длительной мышечной работе: повышение концентрации жирных кислот и кетоновых тел, вследствие метаболизации жира из жировых депо. Кетоновые тела также вызывают снижение рН крови.
- Повышение концентрации мочевины при длительной физической нагрузке в 4-5 раз в связи с усилением катаболизма белков под действием физических нагрузок, особенно силового характера.

# Изменения в моче при выполнении мышечной работы

При выполнении физической работы в моче появляются патологические компоненты:

- **Белок.** Обычно появление белка связывают с выполнением чрезмерных нагрузок, не соответствующих функциональному состоянию. Вероятная причина: повреждение почечных мембран, появление полипептидов, легко проникающих через почечный фильтр.
- **Глюкоза.** Причины: повышение уровня глюкозы крови и превышение почечного порога, повреждение мембран и нарушение обратного всасывания.
- **Кетоновые тела.** Причины: повышение концентрации кетоновых тел в крови и снижение реабсорбционной функции почек при мышечной работе.
- **Лактат.** Появляется после тренировок в зоне субмаксимальной мощности, связан со значительным повышением лактата в крови.
- ❖ **Повышение плотности мочи.** В связи с увеличением внепочечных потерь воды и появлением патологических компонентов.
- ❖ **Повышение кислотности** в связи с выделением молочной кислоты, кетоновых тел.