

- Сократительная функция всех типов мышц обусловлена превращением в мышечных волокнах химической энергии определённых биохимических процессов в механическую работу. Гидролиз аденозинтрифосфата (АТФ) как раз и обеспечивает мышцу этой энергией.
- Поскольку снабжение мускулатуры АТФ невелико, необходимо активировать метаболические пути к ресинтезу АТФ, чтобы уровень синтеза соответствовал затратам на сокращение мышц. Образование энергии для обеспечения мышечной работы может осуществляться анаэробным (без использования кислорода) и аэробным путем. АТФ синтезируется из аденозиндифосфата (АДФ) посредством энергии креатинфосфата, анаэробного гликолиза или окислительного метаболизма. Запасы АТФ в мышцах сравнительно ничтожны и их может хватить лишь на 2-3 секунды интенсивной работы.

Содержание АТФ в мышцах незначительно (около 5 ммоль /кг сырой массы ткани – 0,25-0,4%) и всегда поддерживается на постоянном уровне, так как повышение концентрации АТФ угнетает действие миозина, а падение ниже 2 ммоль/кг нарушает работу Са-насоса ретикулума и тормозит процесс расслабления.

Запасы АТФ могут обеспечивать выполнение интенсивной работы только в течение очень короткого времени – 0,5-1,5 с или 3-4-ти одиночных сокращений максимальной силы. Дальнейшая мышечная работа обеспечивается благодаря быстрому ресинтезу АТФ из продуктов ее распада.

Энергетическими источниками для ресинтеза АТФ являются креатинфосфат и АДФ.

В скелетных мышцах человека выявлено 3 вида анаэробных и один аэробный путь ресинтеза АТФ.

### **Анаэробные механизмы**

- 1) креатинфосфокиназный (алактатный) механизм, обеспечивающий ресинтез АТФ за счет перефосфорилирования между креатинфосфатом и АДФ;
- 2) гликолитический (лактатный) механизм, обеспечивающий ресинтез АТФ в процессе анаэробного расщепления гликогена мышц или глюкозы крови с образованием молочной кислоты;
- 3) миокиназный механизм, осуществляющий ресинтез АТФ за счет реакции перефосфорилирования между двумя АДФ с участием миокиназы (аденилаткиназы).

- **Анаэробные** механизмы являются основными в энергообеспечении кратковременных упражнений высокой интенсивности, а **аэробные** – при длительной работе умеренной интенсивности.

# Аэробный механизм.

Этот механизм в обычных условиях обеспечивает около 90% общего количества АТФ.

Энергетическими субстратами аэробного окисления служат глюкоза, жирные кислоты, частично аминокислоты, молочная кислота и кетоновые тела.

Причем для этой цели используются не только внутримышечные запасы данных веществ, но и углеводы, жиры, кетоновые тела и аминокислоты, доставляемые кровью в мышцы во время физической работы. В связи с этим данный путь ресинтеза АТФ функционирует с максимальной мощностью в течение продолжительного времени.

# Скорость образования АТФ зависит от:

- 1) количества кислорода и эффективности его использования;
- 2) активности окислительных ферментов;
- 3) целостности мембран митохондрий;
- 4) количества митохондрий;
- 5) концентрации гормонов, ионов кальция и других регуляторов.

Углеводы являются более эффективным топливом, так как на их окисление требуется на 12% меньше кислорода. Поскольку запасы углеводов в организме ограничены, ограничена и их возможность использования в видах спорта, требующих проявления общей выносливости. После исчерпания запасов углеводов к энергообразованию подключаются жиры. Так в марафонском беге за счет использования мышечного гликогена работа мышц продолжается 80 мин.

Часть АТФ получается за счет мобилизации гликогена печени. Остальное – за счет жирных кислот.

Аэробный механизм имеет почти в 3 раза меньшую мощность, но поддерживает ее в течение длительного времени, а также почти неисчерпаемую емкость благодаря большим запасам углеводов, жиров, белков. Так, за счет запасов жиров организм может непрерывно работать в течение 7-10 дней.



- Однако аэробный способ образования АТФ имеет и ряд недостатков.
- Действие этого способа связано с обязательным потреблением кислорода, доставка которого в мышцы обеспечивается дыхательной и сердечнососудистой системами. Функциональное состояние кардиореспираторной системы является лимитирующим фактором, ограничивающим продолжительность работы аэробного пути ресинтеза АТФ с максимальной мощностью и величину самой максимальной мощности.

# Анаэробные пути ресинтеза АТФ

Анаэробные пути ресинтеза АТФ являются дополнительными способами образования АТФ в тех случаях, когда основной путь получения АТФ - аэробный - не может обеспечить мышечную деятельность необходимым количеством энергии.

Это бывает на первых минутах любой работы, когда тканевое дыхание еще полностью не развернулось, а также при выполнении физических нагрузок высокой мощности.

## Алактатный анаэробный (креатинфосфокиназный)

-использование имеющейся в мышцах АТФ и быстрый ее ресинтез за счет креатинфосфата, концентрация которого в мышцах в 3-4 раза выше по сравнению с АТФ. Креатинфосфат локализован на сократительных миофибриллах.

Запасы креатинфосфата (КрФ) в мышце побольше запасов АТФ и они анаэробно могут быть быстро превращены в АТФ. КрФ - самая «быстрая» энергии в мышцах (она обеспечивает энергию в первые 5-10 секунд очень мощной, взрывной работы силового характера, например, при подъеме штанги). После исчерпания запасов КрФ организм переходит к расщеплению мышечного гликогена, обеспечивающего более продолжительную (до 2-3 минут), но менее интенсивную (в три раза) работу.

- креатинфосфат (КФ) + аденозиндифосфат (АДФ) -  
креатин + АТФ анаэробный, без образования лактата  
энергетический путь

В скелетных мышцах креатинфосфокиназа обладает высокой активностью, что приводит к усилению этой реакции в самом начале мышечной работы, когда начинает расщепляться АТФ и накапливаться АДФ.

Максимальная мощность креатинфосфокиназной реакции развивается уже на 0,5-0,7 с интенсивной работы, что свидетельствует о большой скорости развертывания, и поддерживается в течение 10-15 с у нетренированных, а у высокотренированных спринтеров – 25-30 сек

Креатинфосфокиназный механизм первым включается в процесс ресинтеза АТФ в начале интенсивной мышечной работы и протекает до тех пор, пока не исчерпаются запасы креатинфосфата. Максимальная мощность креатинфосфокиназной реакции в 1,5-2 раза выше мощности анаэробного гликолиза и в 3-4 раза аэробного процесса.

- метаболическая емкость невелика.

- эффективность очень высокая.

Запасы креатинфосфата зависят от запасов креатина. Введение креатина в виде добавок приводит к увеличению запасов креатинфосфата, а также к повышению работоспособности.

# Гликолитический механизм ресинтеза АТФ

В процессе гликолиза используются внутримышечные запасы гликогена и глюкоза крови. Они постепенно расщепляются до лактата. Активации гликолиза способствует также снижение концентрации креатинфосфата в мышцах и накопление аденозинмонофосфата (АМФ), образующейся в миокиназной реакции.



Максимальная мощность гликолиза у хорошо тренированных людей 3,1 кДж/кг, у нетренированных – 2,5 кДж/кг. Это ниже мощности креатинфосфокиназы, но в 2-3 раза выше аэробного процесса. На максимальную мощность механизм выходит на 20-30 сек после начала работы. К концу 1-ой минуты работы гликолиз становится основным процессом ресинтеза АТФ. При дальнейшей работе снижается под влиянием образования лактата и снижения рН. Обеспечивает поддержание анаэробной работы продолжительностью от 30 сек до 2-6 мин.

- Гликолиз играет важную роль при напряженной мышечной работе в условиях недостаточного снабжения тканей кислородом. Это основной путь образования энергии в упражнениях субмаксимальной мощности, предельная продолжительность которых составляет от 30 сек до 2,5 мин – бег на средние дистанции, плавание на 100-200 м, велосипедные гонки на треке и др. За счет гликолиза совершаются длительные ускорения по ходу упражнения и на финише дистанции. Гликолитический механизм энергообразования является биохимической основой специальной скоростной выносливости организма.

- Увеличение лактата в мышцах сопровождается осмотического давления. Вода поступает в мышцы и они набухают, возникают болевые ощущения.
- Увеличение кислотности крови активирует дыхательный центр, в результате чего увеличивается легочная вентиляция и поставка кислорода к работающим мышцам. Все это происходит при увеличении интенсивности выполняемого упражнения более максимальной аэробной мощности.

Источники	Пути Образования	Время активации до максимального уровня	Срок действия	Продолжительность максимального выделения энергии
<b>Алактатные анаэробные</b>	АТФ, креатинфосфат	0	До 30 с	До 10 с
<b>Лактатные анаэробные</b>	Гликолиз с образованием лактата	15 – 20 с	От 15 – 20 с до 6 – 6 мин	От 30 с до 1 мин 30 с
<b>Аэробные</b>	Окисление углеводов и жиров кислородом воздуха	90 – 180 с	До нескольких часов	2 – 5 мин и более

- Физическая работоспособность или способность выполнять определенный вид мышечной работы связана с наличием у человека определенных внутренних качеств или способностей, реализация которых позволяет успешно осуществлять заданные действия.

# Факторы, лимитирующие физическую работоспособность человека

- 1. Биоэнергетические (аэробные или анаэробные) возможности человека.
- 2. Нейромышечные (мышечная сила и техника выполнения упражнения).
- 3. Психологическая мотивация (мотивация и тактика ведения спортивного состязания)