

Биоэнергетика мышечной деятельности

Калиман Николай Александрович

Пути ресинтеза АТФ

- Расщепление креатинфосфата.
- Анаэробный гликолиз.
- Аэробный путь ресинтеза.
- Миокиназная (аденилаткиназная) реакция – протекает в условиях сильного значительного утомления, рассматривается как аварийный механизм синтеза АТФ.

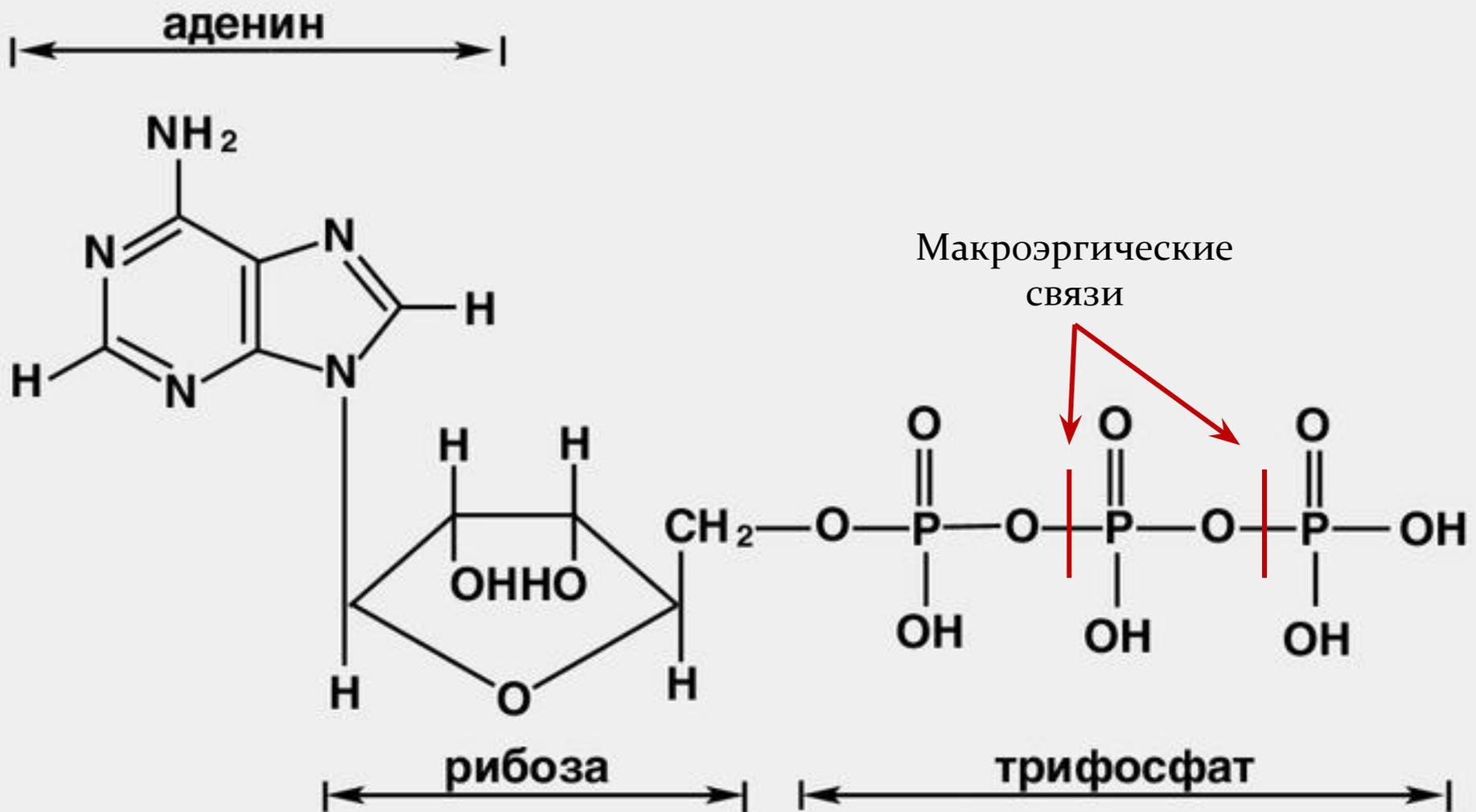
Макроэргические соединения

- Группа природных веществ, молекулы которых содержат богатые энергией или макроэргические, связи.
- Присутствуют во всех живых клетках и участвуют в накоплении и превращении энергии.
- Разрыв макроэргических связей сопровождается выделением энергии, используемой для биосинтеза и транспорта веществ, мышечного сокращения, пищеварения и других процессов жизнедеятельности организма.

Представители

- 1. **Фосфоангидридная связь.** ΔG — 32 кДж/моль. Представители: все нуклеозидтрифосфаты и нуклеозиддифосфаты (АТФ, АДФ и их аналоги)
- 2. **Тиоэфирная связь.** ΔG — 34 кДж/моль. Представители: ацетил-КоА, сукцинил-КоА.
- 3. **Гуанидинфосфатная связь.** ΔG — 42 кДж/моль. Представители: креатинфосфат.
- 4. **Ацилфосфатная связь** (ацил — остаток жирной кислоты). ΔG — 46 кДж/моль. Представители: 1,3-дифосфоглицерат.
- 5. **Енолфосфатная связь.** ΔG — 54 кДж/моль. Представители: фосфоенолпируват.

АТФ – главная энергетическая молекула организма



Соотношение между различными путями ресинтеза АТФ

- Количественные критерии путей ресинтеза АТФ:
- ✓ **Максимальная мощность** – наибольшее количество АТФ, которое может образоваться в единицу времени за счет данного пути ресинтеза. Имеет размерность – кал/мин * кг мышечной ткани, Дж/мин * кг мышечной ткани.
- ✓ **Время равертывания** – минимальное время, необходимое для выхода ресинтеза АТФ на наибольшую скорость, т.е. для достижения максимальной мощности. (Мин, с)

- ✓ **Время сохранения максимальной мощности** – наибольшее время функционирования данного пути ресинтеза с максимальной мощностью. (с, мин, ч)
- ✓ **Метаболическая емкость** – общее количество АТФ, которое может образоваться во время мышечной работы за счет данного пути.

Креатинфосфатный путь

- Максимальная мощность: 900-1100 кал/мин*кг. Эта большая величина обусловлена высокой скоростью креатинфосфатной реакции.
- Время развертывания: 1-2 с. После исчерпания запасов АТФ.
- Время сохранения максимальной мощности: 8-10 с
- **Очень малое время развертывания и высокая мощность.**
- Обеспечение кратковременных упражнений максимальной мощности: бег на короткие дистанции, прыжки, подъем штанги, обеспечивает развитие ускорения на дистанции и финишный рывок.
- В результате систематических тренировок, направленных на развитие скоростно-силовых качеств, в мышцах увеличивается концентрация креатинфосфата и повышается активность креатинкиназы

ресинтеза

- Максимальная мощность: 750-850 кал/мин*кг. Объясняется высоким содержанием гликогена в мышцах, наличие факторов, приводящих к значительному росту скорости гликолиза в 2000 раз, отсутствием потребности в кислороде.
- Время развертывания: 20-30 с. Т.к. все участники гликолиза находятся в саркоплазме миоцитов, возможна быстрая активация ферментов гликолиза.
- Время работы с максимальной мощностью: 2-3 мин. Гликолиз проходит с высокой скоростью – быстрое уменьшение в мышцах концентрации гликогена. В процессе образуется молочная кислота, что приводит к увеличению кислотности в мышечных клетках, снижению, каталитической активности ферментов, что ведет к снижению скорости гликолиза.

ресинтеза

- **Достаточно быстрый выход в максимальную мощность, высокая величина максимальной мощности, не требует участия митохондрий и кислорода.**
- Процесс малоэкономичен (мало АТФ).
- Накопление молочной кислоты ведет к сдвигу pH в кислую сторону, конформационным изменениям мышечных белков, приводящие к снижению их функциональной активности, и ведет к развитию устомления.
- При снижении интенсивности физической работы, в промежутках отдыха образовавшийся лактат может частично выходить в кровь и лимфу, что делает возможным повторное включение гликолиза.

ресинтеза

Биохимические методы оценки использования гликолитического пути:

- Определение лактата крови после физической нагрузки:

В покое 1-2 ммоль/л

Интенсивные непродолжительные нагрузки (2-3 мин) 18-20 ммоль/л и более у спортсменов высокой квалификации.

- Определение лактата в моче:

В покое практически отсутствует.

После тренировки выделяется большое кол-во молочной кислоты.

- pH крови:

В покое 7,36 – 7,40

Интенсивная работа 7,2 – 7,0 – 6,8

- Наибольшее изменение концентрации лактата и pH крови – при работе «до отказа» в зоне субмаксимальной мощности.

ресинтеза

- В результате систематических тренировок с использованием субмаксимальных нагрузок в мышечных клетках повышается концентрация гликогена и увеличивается активность ферментов гликолиза.
- Развитие резистентности тканей и крови к сдвигу pH.
- Участвует в интенсивной мышечной работе на средних дистанциях.

дыхание, окислительное фосфорилирование)

- Максимальная мощность: 350-450 кал/мин*кг.
- Время развертывания: 3-4 мин (у хорошо тренированных – около 1 мин). Объясняется тем, что необходима перестройка всех систем организма, участвующих в доставке кислорода в МХ мышц.
- Время работы с максимальной мощностью: десятки минут.
- Кардиореспираторная система является лимитирующим фактором тканевого дыхания.
- **Самая низкая величина максимальной мощности. Возможности аэробного процесса ограничены доставкой кислорода в митохондрии и их количеством в мышечных клетках.**
- **Большое время развертывания.**
- **Высокая экономичность. Большое количество энергии.**
- **Окисляются основные органические вещества.**
- **Большая продолжительность работы**

Аэробный путь ресинтеза

Для оценки используется:

- Максимальное потребление кислорода (МПК)
- Порог аэробного обмена (ПАО)
- Порог анаэробного обмена (ПАНО)
- Кислородный приход

Количественные критерии основных путей ресинтеза АТФ

Пути ресинтеза	Критерии		
	Максимальная мощность, кал/мин·кг	Время развертывания	Время сохранения максимальной мощности
Креатинфосфатный	900–1100	1–2 с	8–10 с
Гликолитический	750–850	20–30 с	2–3 мин
Аэробный	350–450	3–4 мин	десятки минут

- При любой мышечной работе функционируют все три пути ресинтеза АТФ, но включаются они последовательно. В первые секунды работы ресинтез АТФ идет за счет креатинфосфатной реакции, затем включается гликолиз и, наконец, по мере продолжения работы на смену гликолизу приходит тканевое дыхание.

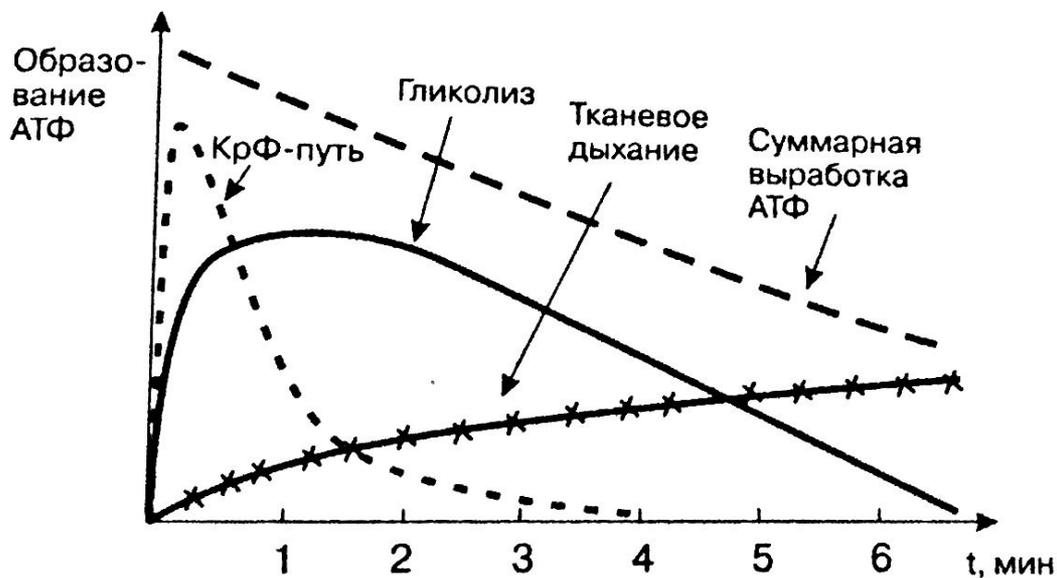


Рис. 19. Включение путей ресинтеза АТФ при выполнении физической работы

Зоны относительной мощности мышечной работы (классификация по В.С. Фарфелю)

- Зона максимальной мощности.
- Зона субмаксимальной мощности.
- Зона большой мощности.
- Зона умеренной мощности.

Зона максимальной мощности

- 15-20 с.
- Основной источник АТФ – креатинфосфат.
- Бег на короткие дистанции, прыжки в длину и высоту, некоторые гимнастические упражнения, подъем штанги.
- Нагрузки называют алактатными.
- В конце работы замещается гликолитическим путем.

Зона субмаксимальной МОЩНОСТИ

- До 5 мин.
- Ведущий механизм ресинтеза – гликолитический.
- В начале работы, пока гликолиз не достиг максимальной мощности, образование АТФ идет за счет креатинфосфата, в конце работы сменяется тканевым дыханием.
- Бег на средние дистанции, плавание на короткие дистанции, велогонки на треке, бег на коньках на спринтерские дистанции.
- Нагрузки называют гликолитическими или лактатами.

Зона большой мощности

- До 30 мин.
- Примерно одинаковый вклад гликолиза и тканевого дыхания. Креатинфосфатный путь только в начале работы.
- Бег на 5000 м, бег на коньках на стайерские дистанции, плавание на средние и длинные дистанции.
- Нагрузки называют анаэробно-аэробные или же аэробно-анаэробные в зависимости от преобладания одного из них.

Зона умеренной мощности

- Свыше 30 мин.
- Преимущественный путь – аэробный.
- Бег на марафонские дистанции, спортивная ходьба, шоссейные велогонки, лыжные гонки на длинные дистанции, турпоходы.

- В ациклических и ситуационных видах спорта (единоборства, гимнастические упражнения, спортивные игры) мощность выполняемой работы многократно меняется.
- Например, у футболистов бег с умеренной скоростью (зона большой мощности) чередуется с бегом на короткие дистанции со спринтерской скоростью (зона максимальной или субмаксимальной мощности). В то же время у футболистов бывают такие отрезки игры, когда мощность работы снижается до умеренной.
- При подготовке спортсменов необходимо применять тренировочные нагрузки, развивающие путь ресинтеза АТФ, являющийся ведущим в энергообеспечении работы в зоне относительной мощности характерной для данного вида спорта

