

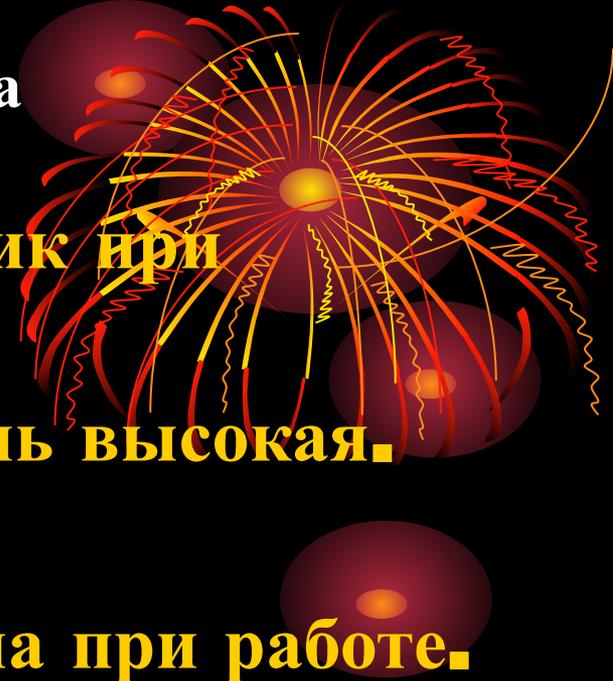


ПУТИ РЕСИНТЕЗА АТФ

Тамбовцева Р.В., д.б.н.,
профессор
Москва, РГУФКСМиТ

АТФ и мышечная работа

- АТФ – непосредственный источник энергии при мышечной работе.
- Скорость расходования АТФ очень высокая.
- Запасы АТФ невелики.
- Вся АТФ не может быть затрачена при работе.
- Выполнение значительного объема работы возможно только при ресинтезе АТФ с той же скоростью, с какой она тратится.



ПУТИ РЕСИНТЕЗА АТФ

- Процессы, обеспечивающие ресинтез АТФ принято делить на аэробные и анаэробные.
- К важнейшим анаэробным процессам относятся:
 - - креатинфосфатная реакция
 - - гликолиз
- Есть и другие, но их вклад в энергообеспечение мышечной работы незначителен.



ПОКАЗАТЕЛИ МЕХАНИЗМОВ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

- Для сравнения различных механизмов, оценки их возможностей используются следующие показатели:
- - Максимальная мощность
- - Скорость развертывания
- - Емкость
- - Эффективность



ПОКАЗАТЕЛИ

- Мощность – максимальное количество энергии, которое тот или иной процесс может дать в единицу времени (максимальное количество АТФ, которое может быть ресинтезировано в единицу времени).
- Скорость развертывания – время от начала работы до достижения процессом максимальной мощности.



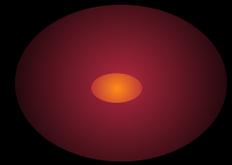
ПОКАЗАТЕЛИ

- **ЕМКОСТЬ** - общее количество энергии, которое может поставить процесс для обеспечения работы
- **ЭФФЕКТИВНОСТЬ** – отношение энергии, используемой для ресинтеза АТФ, к общему количеству освободившейся энергии.



АЭРОБНЫЙ РЕСИНТЕЗ АТФ (аэробное биологическое окисление)

- Биологическое окисление бывает аэробным и анаэробным.
- АЭРОБНОЕ ОКИСЛЕНИЕ – основной путь ресинтеза АТФ, непрерывно действующий на протяжении всей жизни.
- Суть процесса 



АЭРОБНЫЙ РЕСИНТЕЗ АТФ (Аэробное окисление)

- Окисление в организме заключается в отщеплении от окисляемого вещества водорода – отдельно **2-х** протонов и **2-х** электронов. Водород отщепляется ферментами НАД и ФАД.
- Носителями энергии при этом являются электроны.
- Для организма важно:
 - - эффективно использовать энергию электронов
 - - не допустить значительного повышения температуры.

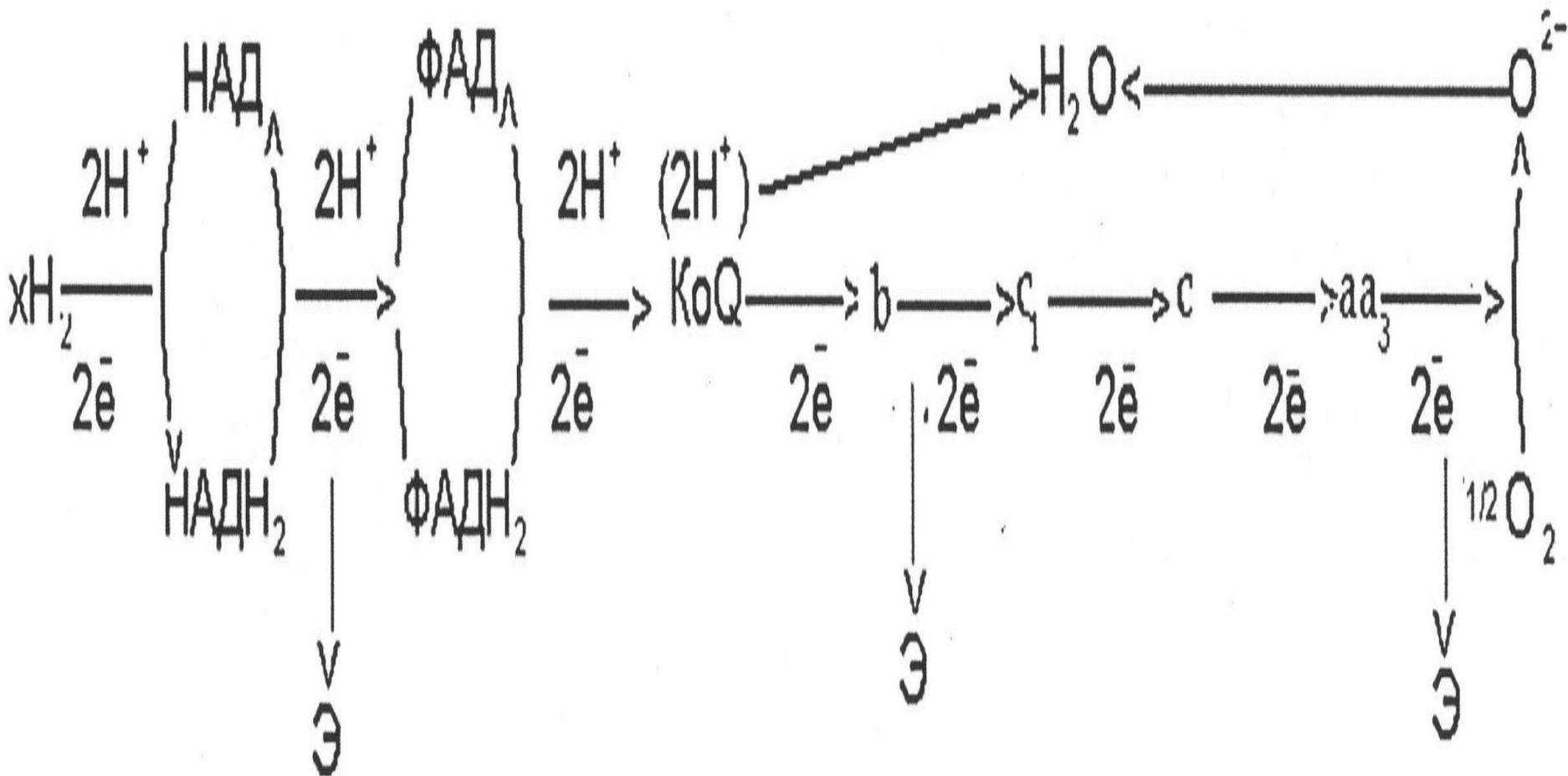


АЭРОБНОЕ ОКИСЛЕНИЕ

- При аэробном окислении конечным акцептором водорода является кислород.
- Чтобы решить указанные ранее задачи НАД не передает протоны и электроны сразу кислороду.
- Они проходят через цепь промежуточных переносчиков (дыхательную цепь).



ДЫХАТЕЛЬНАЯ ЦЕПЬ



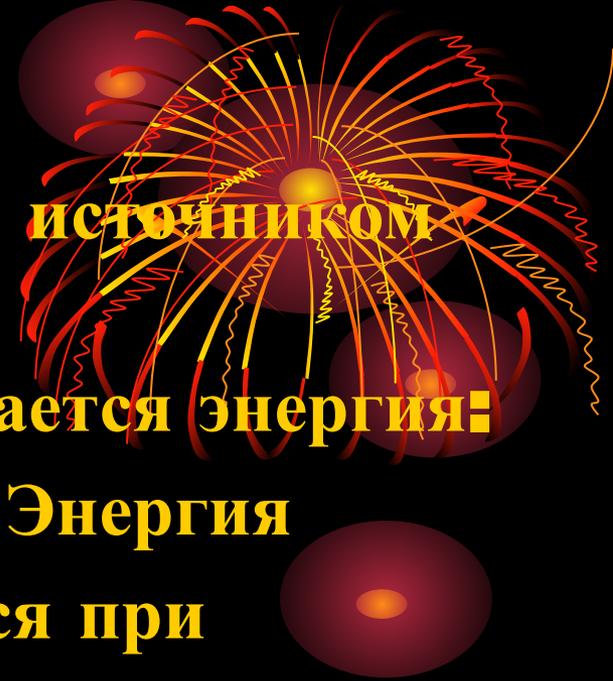
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

- Энергетический эффект окисления связан с переносом электронов.
- На каждом этапе переноса они теряют часть энергии.
- В трех пунктах переноса освобождаются более значительные порции энергии: НАД⁺ → ФАД, **b** → **c**₁, аа₃ → кислород.
- В этих трех пунктах освобождается энергия, которая может быть использована организмом для выполнения какой-либо работы.
- Но не непосредственно, а через АТФ.



Роль АТФ

- АТФ является непосредственным источником энергии для живых организмов.
- При расщеплении АТФ освобождается энергия:
 - $\text{АТФ} \rightarrow \text{АДФ} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{Энергия}$
- Только энергия, освобождающаяся при расщеплении АТФ, может использоваться живыми организмами для выполнения всех видов работ.



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ 1

- Освобождающаяся в этих трех пунктах энергия используется на ресинтез АТФ по уравнению:
 - $\text{АДФ} + \text{фосфорная кислота} + \text{Эн.} = \text{АТФ}$
- На другие процессы эта энергия использоваться не может.
- Перенос по дыхательной цепи пары водородов обеспечивает ресинтез **3**-х молекул АТФ.
- На это используется почти **60%** освобождающейся энергии
- Энергия, не используемая на синтез АТФ, освобождается в виде тепла.



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ 2

- В обычных условиях этого тепла как раз хватает для поддержания температуры тела. То есть полезно используется практически вся энергия. Но за счет тепла работу выполнить нельзя.
- При работе, когда процессы окисления ускоряются, тепла освобождается много и включается терморегуляция.



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ **3**

- Имеются косвенные данные, свидетельствующие о том, что у спортсменов экстра класса, специализирующихся в аэробных видах спорта, эффективность аэробного окисления выше.
- Перенос одной пары водорода может обеспечить ресинтез не **3**, а **4**-х молекул АТФ.



СКОРОСТЬ АЭРОБНОГО ОКИСЛЕНИЯ

- **Скорость аэробного окисления зависит от потребности в энергии, а точнее от концентрации АДФ.**
- **Но иногда эта связь нарушается.**



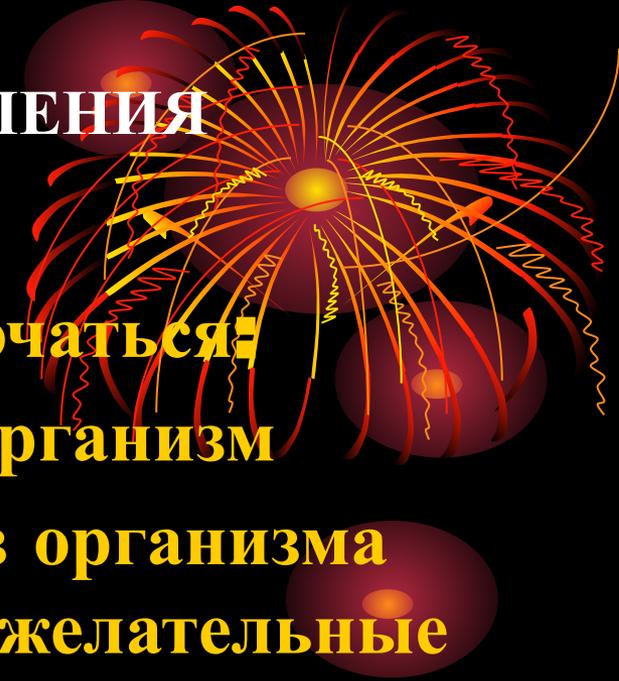
СВОБОДНОЕ ОКИСЛЕНИЕ

- Свободное окисление – когда освобождающаяся при переносе электронов энергия не используется на ресинтез АТФ, а освобождается в виде тепла.
- Вместо **3**-х молекул АТФ может ресинтезироваться **2, 1** или даже ни одной.



РОЛЬ СВОБОДНОГО ОКИСЛЕНИЯ

- **Свободное окисление может включаться:**
- **- при холодовом воздействии на организм**
- **- при необходимости устранить из организма (путем расщепления) какие-то нежелательные для него вещества.**
- **- при неблагоприятных изменениях в организме, вызванных мышечной работой или другими причинами.**



РОЛЬ СВОБОДНОГО ОКИСЛЕНИЯ 2

- При закаливании вырабатывается способность легко включать свободное окисление, чтобы противодействовать холодовому воздействию.
- Под влиянием систематической тренировки в видах спорта с большими энерготратами связь между окислением и ресинтезом АТФ становится более прочной, чтобы не снижалась эффективность процессов аэробного окисления.



ЛОКАЛИЗАЦИЯ АЭРОБНОГО ОКИСЛЕНИЯ

- Процесс аэробного окисления происходит внутри клеток в митохондриях.
- Количество митохондрий под влиянием систематической тренировки может увеличиваться.

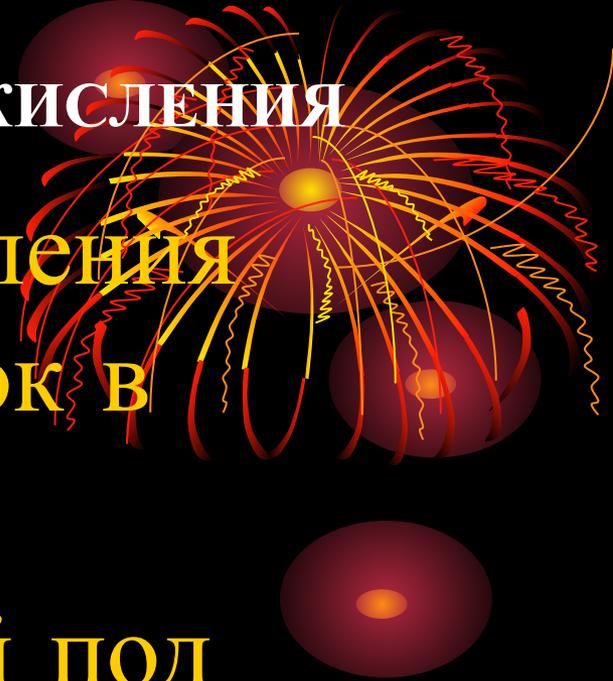
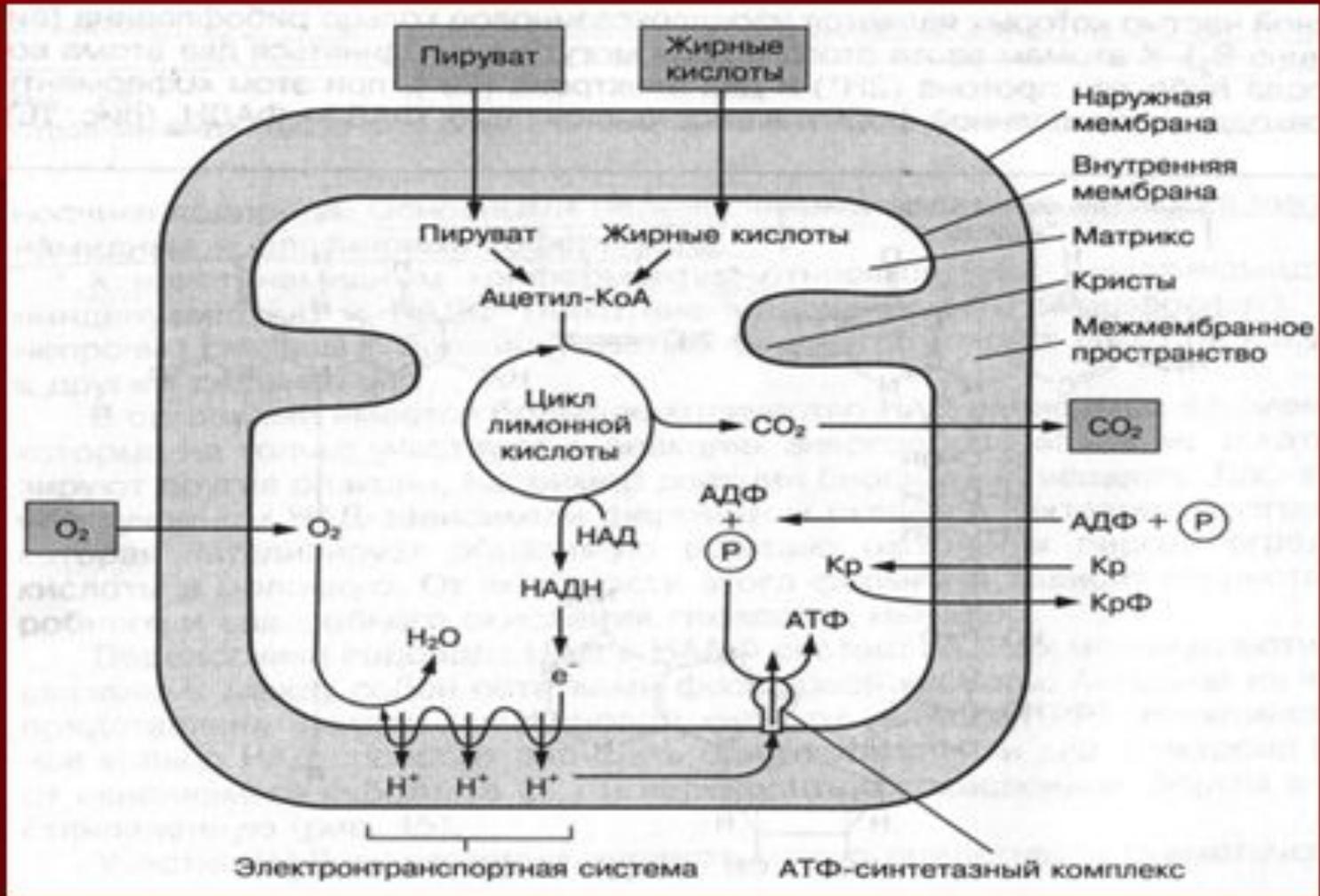


СХЕМА СТРОЕНИЯ МИТОХОНДРИИ



Достоинства и недостатки аэробного ресинтеза АТФ

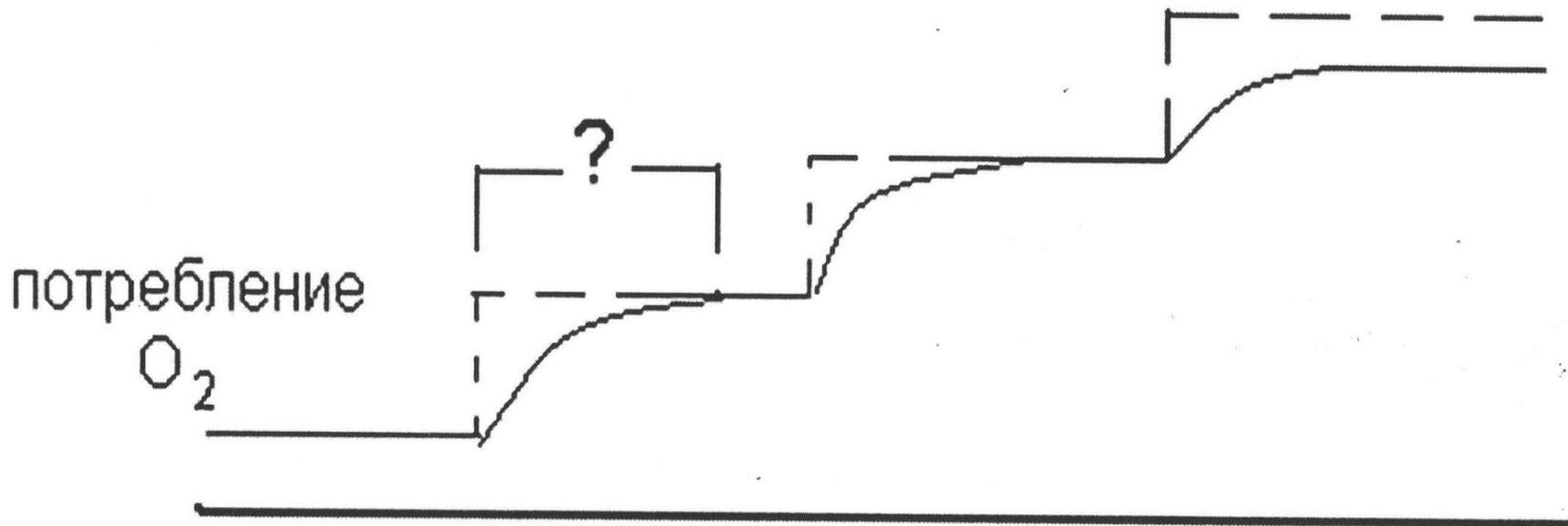
- **ДОСТОИНСТВА:**

- **Наличие большого количества субстратов окисления (углеводы, жиры, белки).**
- **Удобные конечные продукты (CO_2 и H_2O), которые легко удаляются из организма.**
- **Высокая энергетическая эффективность: почти 60% освобождающейся энергии используется полезно на ресинтез АТФ.**



Недостатки

- Изменение скорости аэробных превращений при работе со ступенчатым увеличением интенсивности:



НЕДОСТАТКИ 2

- Низкая скорость развертывания и ограниченная мощность.
- Оба указанных недостатка аэробного пути ресинтеза АТФ связаны с возможностями потребления, транспорта и использования кислорода.



СКОРОСТЬ АЭРОБНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

- ЗАВИСИТ:
- - от потребности в энергии
- - от количества и активности ферментов
- от наличия субстратов окисления
- От поставки кислорода



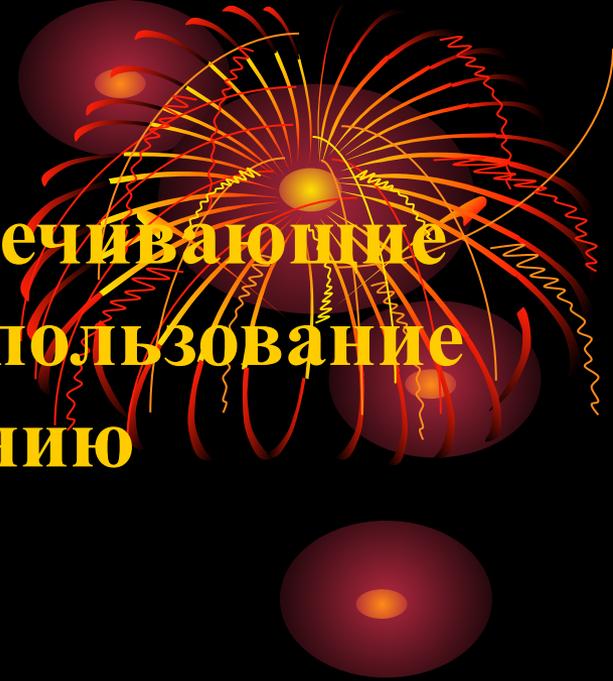
ПОСТАВКА КИСЛОРОДА

- **Возможности организма по доставке кислорода к работающим тканям и органам является главным фактором, ограничивающим аэробное энергообеспечение.**
- **Доставка кислорода к местам использования обеспечивается деятельностью дыхательной и ССС, системой крови.**
- **К доставке кислорода имеет отношение гемоглобин крови и миоглобин, содержащийся в тканях.**



ВЛИЯНИЕ ТРЕНИРОВКИ

- **Все органы и системы, обеспечивающие потребление, транспорт и использование кислорода подвержены влиянию тренировки – происходит их совершенствование.**
- **Это проявляется в повышении максимальной мощности аэробного пути ресинтеза АТФ.**
- **Скорость развертывания менее значимый показатель.**



МАКСИМАЛЬНОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА (МПК)

- В качестве показателя уровня развития аэробного пути ресинтеза АТФ используется **максимальное потребление кислорода** – **максимальное количество кислорода, которое может потребить и использовать тот или иной человек в единицу времени при выполнении интенсивной работы.**



МПК

- Различают абсолютные и относительные значения МПК.
- В состоянии покоя потребление O_2 составляет **0,3-0,4** л/мин.
- При выполнении интенсивной работы МПК увеличивается и может достигать **3-4-5** л/мин. Это абсолютные значения МПК.



ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МПК

- Если два человека имеют одинаковые значения МПК, на разную массу тела, у кого выше аэробные возможности?
- У того, у кого меньше масса тела.
- Поэтому более информативны относительные значения МПК – когда количество потребляемого кислорода (в мл) делится на массу тела (в кг).



ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МПК **2**

- Относительные значения МПК варьируют у разных людей (в зависимости от возраста, пола, состояния здоровья, уровня тренированности, спортивной специализации) от **20** до **85** мл/кг/мин и более.



ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МПК 3

- Можно сказать, что емкость аэробного пути ресинтеза АТФ – безгранична. Работает на протяжении всей жизни без остановки.
- Но интересно не это, а сколько времени аэробный процесс может работать с максимальной или около максимальной мощностью.



УСЛОВИЯ ДОСТИЖЕНИЯ МПК

- МПК достигается при ЧСС **180-190** уд/мин.
- При этих значениях ЧСС достигается максимальная сердечная производительность.
- Продолжительность работы должна быть не менее **2** минут.



ЕМКОСТЬ АЭРОБНОГО ПУТИ **2**

- Нетренированный человек на уровне МПК может работать **6-8** минут.
- Спортсмен экстра класса представитель аэробных видов спорта – **30-35** минут.



РОЛЬ АЭРОБНОГО ПУТИ ПРИ РАБОТЕ

- **Основной механизм энергообеспечения при любой достаточно продолжительной работе.**
- **«Фоновый» механизм при работе переменной интенсивности.**
- **Обеспечивает энергией все восстановительные процессы.**



АНАЭРОБНЫЕ ПУТИ РЕСИНТЕЗА АТФ



- Анаэробные процессы компенсируют недостатки аэробного: обладают высокой скоростью развертывания и высокой мощностью.
- Но имеют небольшую емкость.
- Они работают подобно аккумуляторам: «заряжаются» за счет аэробного процесса и в нужный момент отдают энергию.

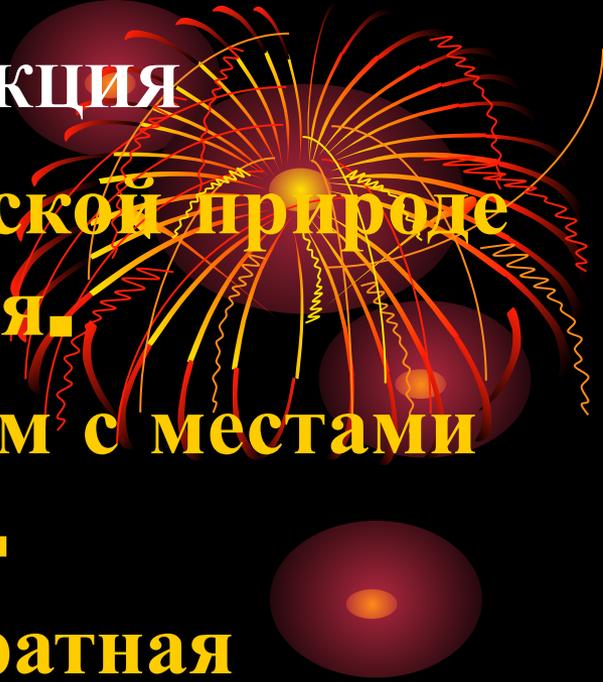
Креатинфосфатный путь ресинтеза АТФ



- В клетках организма, кроме АТФ, имеется еще одно вещество с богатой энергией химической связью – креатинфосфат (КрФ).
- Креатинфосфат может вступать в реакцию с АДФ:
 - $\text{КрФ} + \text{АДФ} \rightleftharpoons \text{Кр} + \text{АТФ}$
- Этот механизм энергообеспечения называют также алактатным анаэробным

КРЕАТИНФОСФАТНАЯ РЕАКЦИЯ

- Это очень простой по химической природе механизм – всего одна реакция.
- КрФ находится в клетке рядом с местами образования АДФ при работе.
- Благодаря этому креатинфосфатная реакция обладает уникальными характеристиками.



ВОЗМОЖНОСТИ КрФ-реакции



- У нее наибольшая скорость развертывания: максимальной мощности достигает через **1-3** секунды после начала интенсивной работы.
- Наибольшая мощность: максимальная мощность КрФ - реакции в **3-4** раза выше максимальной мощности аэробного пути ресинтеза АТФ и в **1,5-2** раза выше максимальной мощности гликолиза.
- Благодаря своим кинкальным характеристикам креатинфосфатная реакция лежит в основе скоростно-силовых качеств.
- Главным недостатком является ограниченная емкость, зависящая от содержания креатинфосфатата.

ЕМКОСТЬ КрФ-реакции

- Работать с максимальной интенсивностью можно **6-8** секунд.
- Через **6-8** секунд КрФ снижается настолько, что скорость реакции замедляется и снижается интенсивность работы.
- Хорошо тренированные спортсмены (спринтеры) могут работать за счет этой реакции более продолжительное время.
- Время работы с максимальной интенсивностью используется для оценки емкости КрФ – реакции.



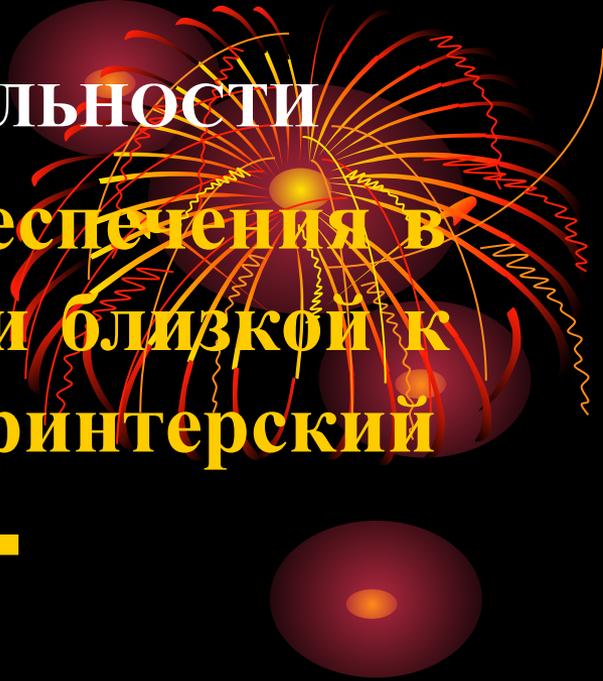
ВЛИЯНИЕ ТРЕНИРОВКИ

- Под влиянием целенаправленной тренировки повышается скорость развертывания, мощность и емкость КрФ – реакции. Особенно значительно можно повысить емкость.
- В основе этого лежит увеличение КрФ, которое может повыситься в **1,5-2** раза.



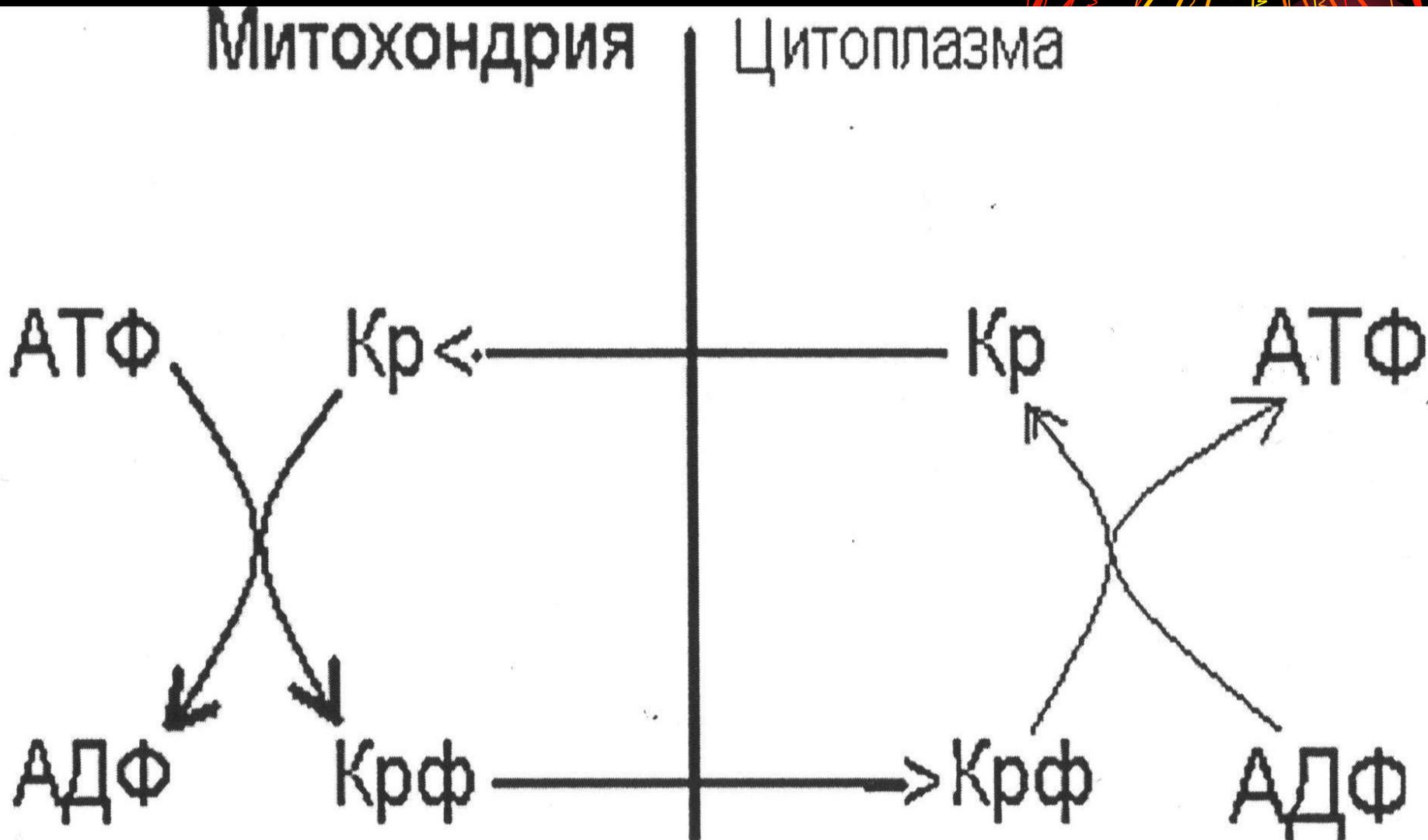
РОЛЬ ПРИ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- **Основной механизм энергообеспечения в упражнениях максимальной и близкой к максимальной мощности (спринтерский бег, упражнения со штангой).**
- **Обеспечивает энергией резкие изменения мощности по ходу работы.**



ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЙ ПЕРЕНОС ЭНЕРГИИ

- Креатинфосфат является также внутриклеточным переносчиком энергии.

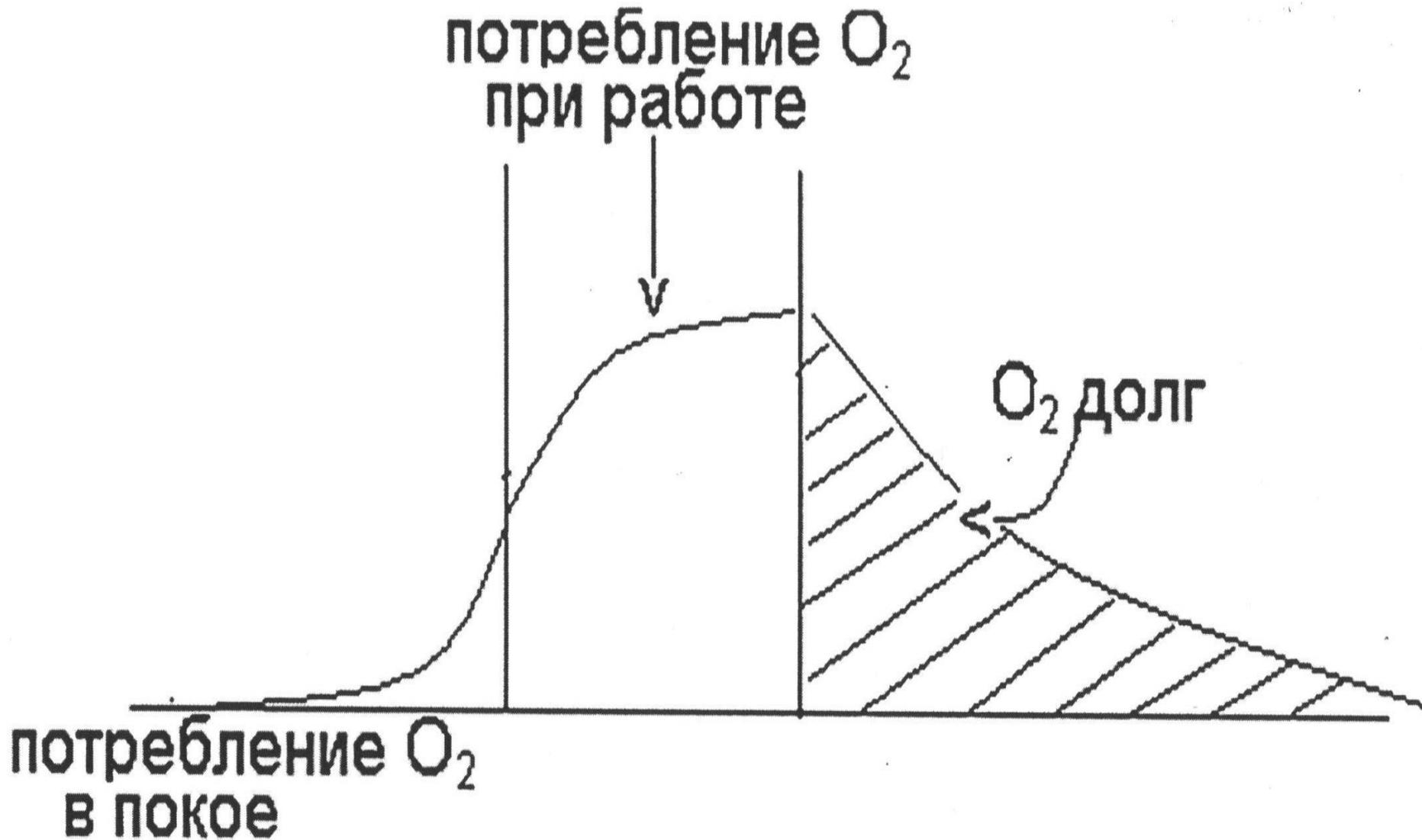


ВОССТАНОВЛЕНИЕ КРЕАТИНФОСФАТА

- После завершения интенсивной работы запасы КрФ восстанавливаются. Это происходит по уравнению:
 - $\text{Кр} + \text{АТФ} \rightleftharpoons \text{КрФ} + \text{АДФ}$
- АТФ, используемая для ресинтеза КрФ, образуется в ходе процессов аэробного окисления, для обеспечения которых требуется дополнительное количество кислорода.
- Запасы КрФ могут восстановиться за **2-5** минут. При значительном снижении их содержания – за более продолжительное время.



ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА ПОСЛЕ ИНТЕНСИВНОЙ РАБОТЫ



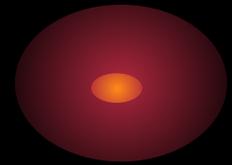
Кислородный долг

- **Излишек кислорода, потребляемый в период восстановления после интенсивной работы сверх уровня покоя.**



ГЛИКОЛИЗ

- Анаэробное расщепление гликогена или глюкозы до образования молочной кислоты (МК).
- За счет освобождающейся энергии ресинтезируется АТФ. Расщепление до молочной кислоты **1** молекулы глюкозы обеспечивает ресинтез **2** молекул АТФ, **1** глюкозного остатка гликогена – **3** молекул АТФ.



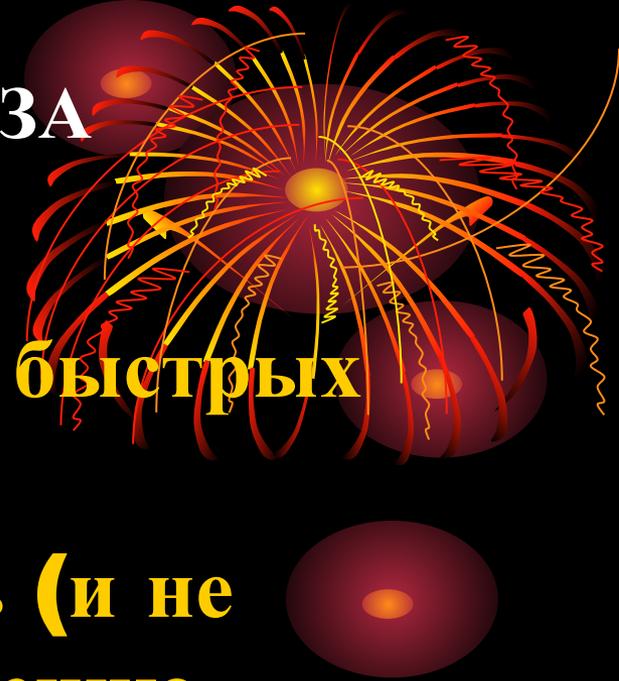
ГЛИКОЛИЗ

- Гликолиз по своим возможностям занимает промежуточное положение между КрФ-реакцией и аэробным ресинтезом АТФ.
- Скорость развертывания гликолиза – **20-40** секунд
- Мощность: в **1,5-2** раза выше максимальной мощности аэробного окисления и в **1,5-2** раза ниже мощности КрФ-реакции.
- Оценить емкость гликолиза сложно, так как он один не может участвовать в энергообеспечении работы.
- По косвенным данным – гликолиз может дать в **5-7** раз больше энергии, чем КрФ-реакция.



ЕМКОСТЬ ГЛИКОЛИЗА

- **Емкость гликолиза зависит:**
- **- от содержания гликогена в быстрых мышечных волокнах.**
- **- от устойчивости ферментов (и не только ферментов) к наполнению молочной кислоты и изменению рН**
- **- от емкости буферных систем**
- **- от волевых качеств.**



РОЛЬ ГЛИКОЛИЗА

- **Важнейший механизм энергообеспечения в упражнениях субмаксимальной мощности.**
- **Это упражнения продолжительностью от 30 до 3-4 минут, при условии, что человек за все время выкладывается полностью.**
- **Участвует в энергообеспечении более кратковременных и продолжительных упражнений.**
- **Участвует в энергообеспечении упражнений, где присутствует статический режим деятельности мышц.**
- **Участвует в энергообеспечении повседневной деятельности.**



ВЛИЯНИЕ МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ НА ОРГАНИЗМ

- Сдвигает рН в кислую сторону.
- Из-за сдвига рН:
 - - падает активность ферментов
 - - изменяются свойства многих белков (в том числе сократительных).
- Вызывает осмотические явления – переход воды внутрь мышечных волокон.
- Происходит чрезмерное усиление дыхания, что требует дополнительных затрат энергии.



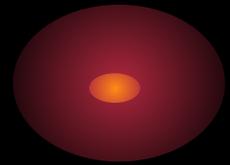
УСТРАНЕНИЕ МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ

- Молочная кислота практически не устраняется в тех волокнах, где образуется, а поступает в кровь.
- Два основных пути:
 - - использование в качестве источника энергии (сердце и другие ткани)
 - - ресинтез в гликоген (в печени).
- Ресинтез гликогена из молочной кислоты требует затрат энергии (в виде АТФ). Для ресинтеза этого АТФ требуется дополнительное количество кислорода. Этот кислород также включается в кислородный долг.



МИОКИНАЗНАЯ РЕАКЦИЯ

- $АДФ + АДФ \rightleftharpoons АТФ + АМФ$
- Этот механизм называют реакцией крайней помощи.
- Может использоваться в самых крайних случаях.
- Емкость незначительна.
- Проявляет себя при необходимости устранить излишки АТФ и на начальных этапах мышечной работы. АМФ – стимулятор аэробного окисления.





● **БЛАГОДАРЮ**

● **ЗА**

● **ВНИМАНИЕ**