

Ярославский государственный педагогический
университет им. К.Д. Ушинского

Физическая нагрузка, устомление и перетренировка

Мельников Андрей Александрович
доктор биологических наук, доцент

План лекции

1. Нагрузка

- Объем нагрузки
- Интенсивность нагрузки
- Относительная физиологическая мощность нагрузки

2. Утомление

- Виды утомления
- Причины утомления

3. Перетренировка

- Стадии перетренировки
- Причины перетренировки
- Симптомы перетренировки

1. Нагрузка

Нагрузка — это

- **величина воздействия** физических упражнений на организм спортсмена
- дополнительная **степень** (относительно покоя) функциональной **активности организма** под влиянием физических упражнений

Внешние характеристики нагрузки (характеристики упражнения):

Объем нагрузки – общие, тотальные показатели работы (длительности работы) :

- Длительность нагрузки: мин, км
- Количество
 - занятий,
 - игр
 - повторений,
 - серий,
 - подходов к упражнению,

Интенсивность нагрузки – количество работы, совершаемой за определенное время:

- Скорость упражнения: м/сек, км/час
- Количество повторений за период времени
- Мощность упражнений: кг/метр, кг/сек, Ватт
- Вес отягощений / снаряда
- Величина интервала отдыха

Внутренние характеристики нагрузки (физиологическая реакция в организме)

Объем нагрузки – величина общей работы систем организма:

- Общий расход энергии: кКал, кДж,
- Общее потребление кислорода: литров
- Общее число сердечных сокращений (пульсовая стоимость работы):
количество сердечных сокращений

Интенсивность нагрузки – величина реакции организма (или сила воздействия):

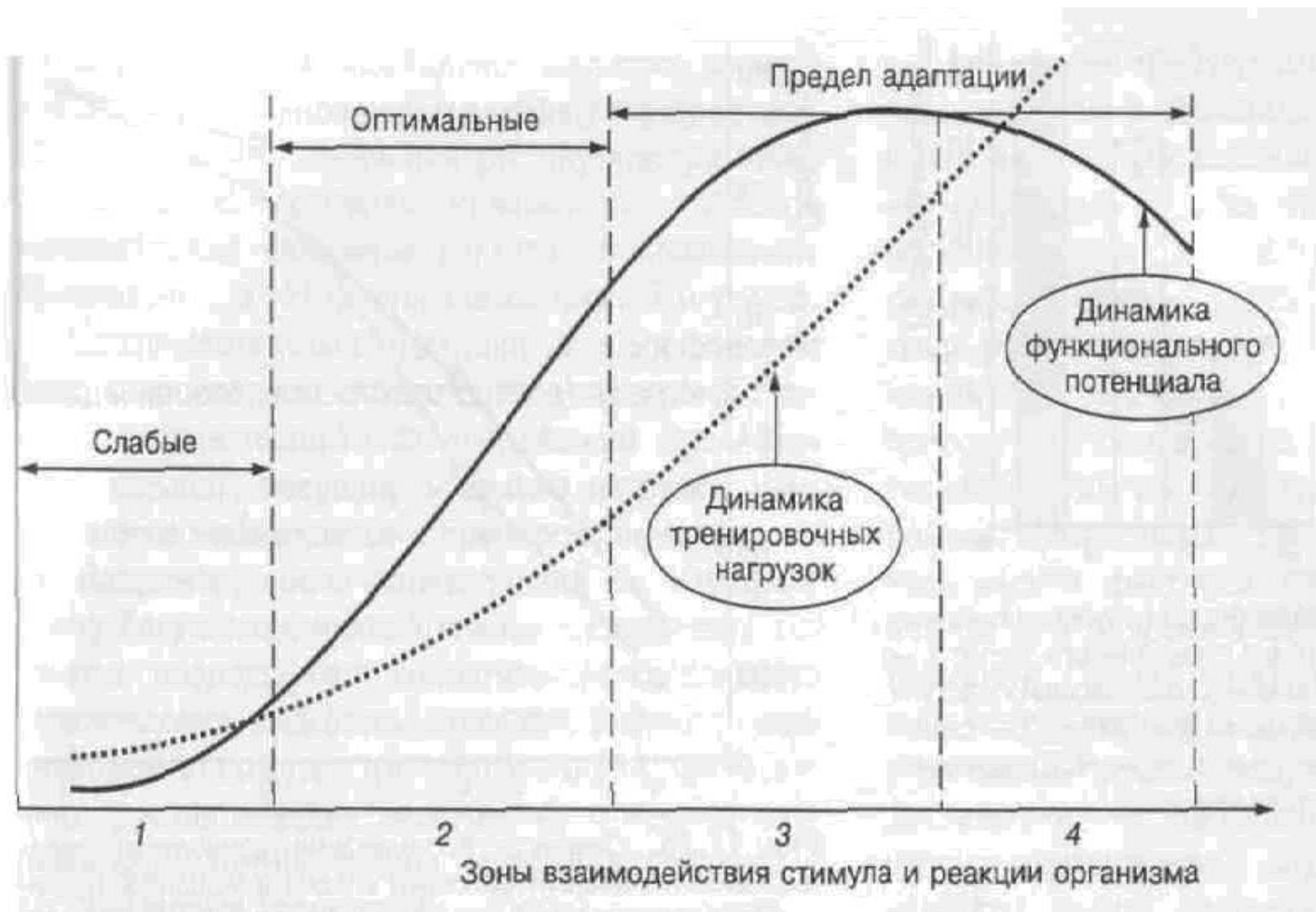
- ЧСС,
- %ЧСС от ЧСС_{max},
- прирост ЧСС
- Лактат
- %МПК,
- % ПАНО
- Длительность восстановления

«Пороговая нагрузка»

Выделяют 4 вида нагрузок:

1. **Обычная, привычная** нагрузка – минимальная нагрузка не вызывающая развития тренируемых функций – подпороговая нагрузка(менее 25%)
2. **Развивающая** нагрузка – большие и значительные нагрузки, которые характеризуются высокими воздействиями на основные функциональные системы организма и вызывают значительный уровень утомления (более 50% от максимума).
3. **Предельные истощающие** нагрузки – индивидуально предельные нагрузки, длительное использование которых ведет к дезадаптации и перетренировке
4. **Восстановительным** нагрузки - малые нагрузки на уровне 25—30% по воздействию на организм и требующие восстановления не более 6 ч.

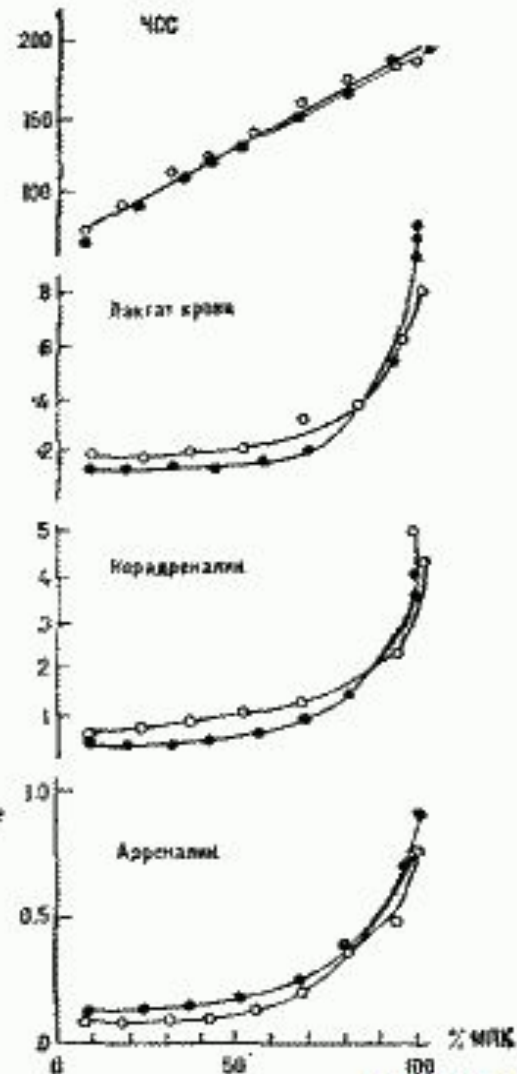
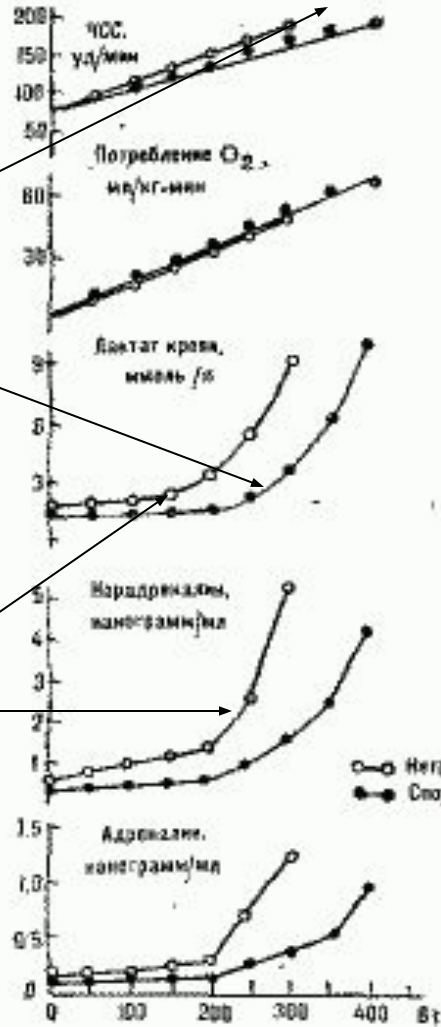
Связь величины нагрузки с динамикой функциональной подготовленности



Связь физической нагрузки с физиологической реакцией организма:
**ЧЕМ БОЛЬШЕ ИНТЕНСИВНОСТЬ НАГРУЗКИ, ТЕМ
 ВЫШЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ ОРГАНИЗМА**

СПОРТСМЕН

КОНТРОЛЬ



Физиологическая реакция на физическую работу зависит:

1. величины / интенсивности физической работы
2. функциональных возможностей организма / тренированности

Выход в определении
относительных физиологических
сдвигов в организме

Грубое выделение 2-х видов **относительной физиологической мощности** циклической нагрузки

1. Анаэробная нагрузка
анаэробное энергообразование
(фосфагены: АТФ, КрФ
и гликолитический ресинтез
АТФ)

2. Аэробная нагрузка
аэробное энергообразование
(аэробное окисление в
митохондриях с
ресинтезом АТФ)

Энергетика мышечного сокращения

АТФ – единственная энергетическая молекула для мышечного сокращения

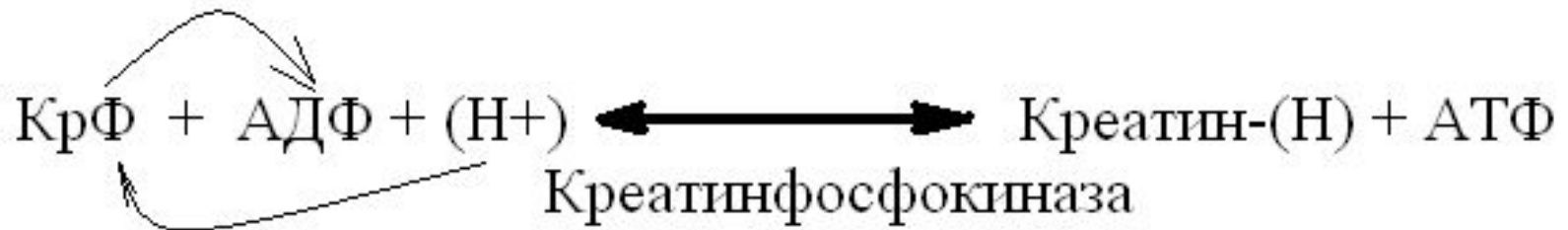


Анаэробные энергообразующие системы

1. Фосфагенная (алактатная) анаэробная
2. Гликолитическая (лактатная) анаэробная

1. Фосфагенная анаэробная энергосистема

1. Использование имеющегося запаса АТФ в мышечном волокне (1-3 сек).
2. Ресинтез АТФ в результате расщепления запасов креатинфосфата (КФ) (до 20 сек).



3. Ресинтеза АТФ в миокиназной реакции (до 5-7 сек).

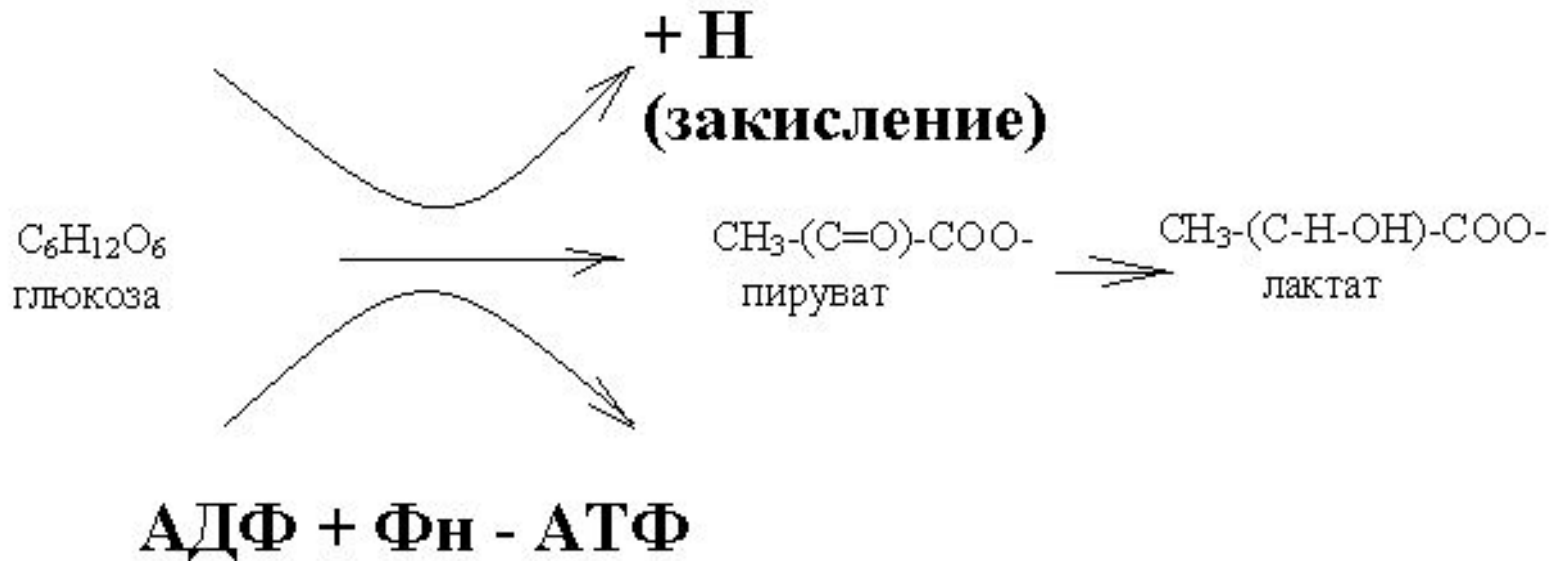


Особенности фосфагенной (алактатной) системы

1. Безинертная система
 - Ферменты, субстраты и потребители АТФ расположена все рядом
2. Энергетическая мощность максимальная
3. Энергетическая емкость минимальная
4. Лимитирующий фактор – запасы креатинфосфата
5. Плохо тренируемая, в основном за счет гипертрофии мышц

2. Гликолитическая анаэробная система

Ресинтез АТФ в за счет энергии, образованной при расщеплении глюкозы и гликогена без участия кислорода.



Особенности гликолитической (лактаcidной) системы

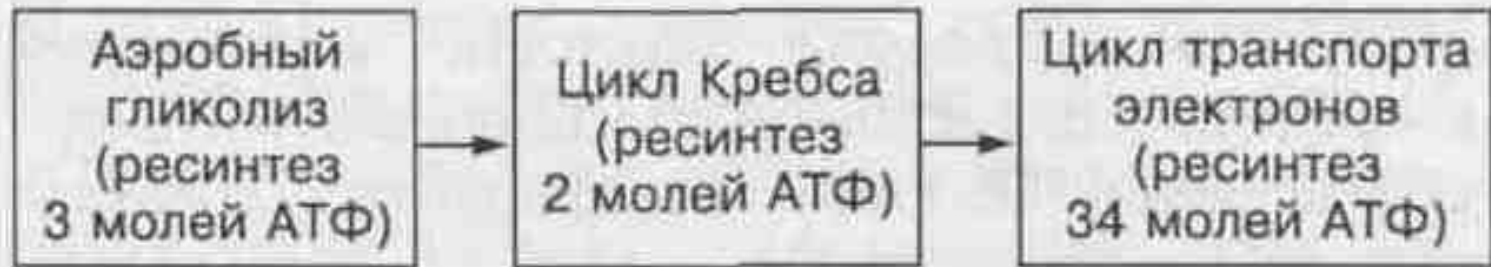
1. Инертность небольшая (15-30 сек)
 - Ферменты гликолиза цитоплазмы
 - 10 реакций от глюкозы до пирувата
2. Мощность большая/средняя
(обеспечивает большой диапазон нагрузок)
3. Емкость большая (1,5-5 мин)
4. Лимитирующий фактор:
 - 1) Закисление протонами водорода (H^+)
 - 2) Истощение глюкозы
 - 3) Лактат / молочная кислота не является лимитирующим фактором (нет концентрации когда гликолиз тормозится)
5. Тренируется хорошо, особенно в условиях дефицита кислорода (горы, высокой интенсивности нагрузки)

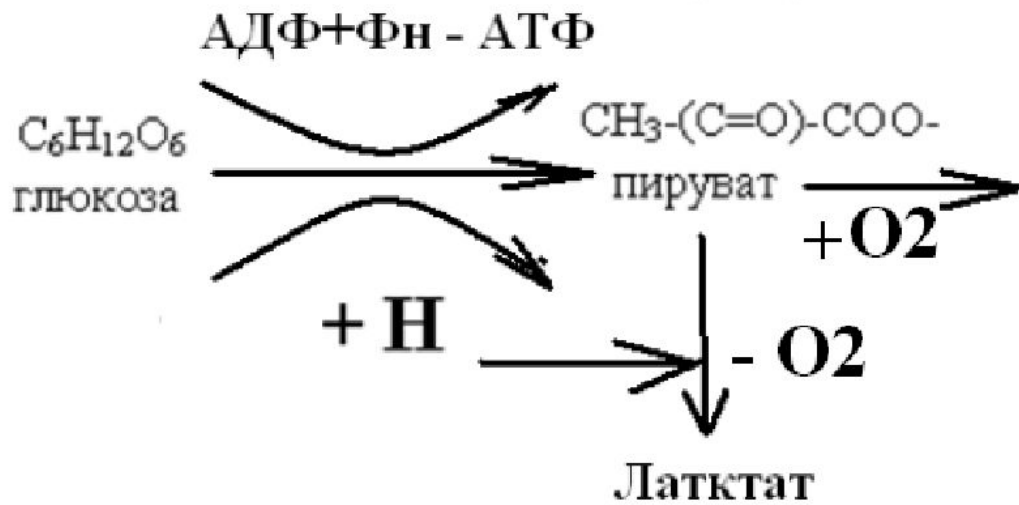
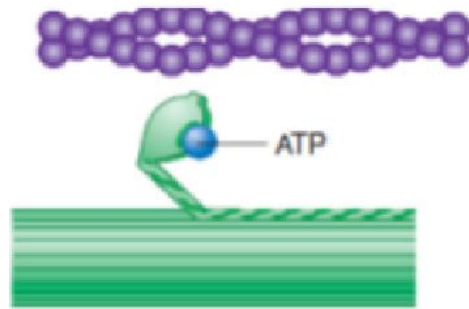
Аэробная энергосистема

В результате окисления углеводов, жиров и белков при участии кислорода в митохондриях образуется энергия необходимая для ресинтеза АТФ из АДФ и Фн.

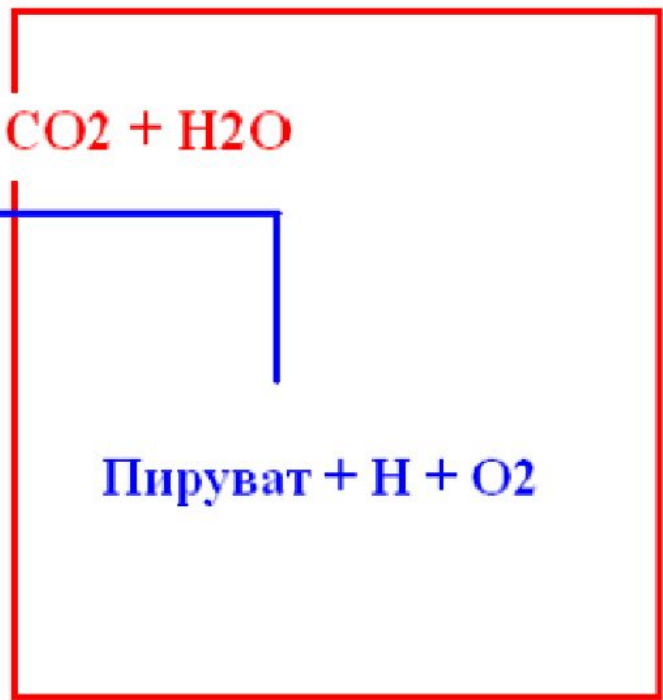
Аэробный ресинтез АТФ *при расщеплении гликогена* включает три процесса

1. Аэробный гликолиз.
2. Цикл Кребса.
3. Систему транспорта электронов.





АТФ + CO₂ + H₂O



Пируват + H + O₂

Митохондрии

Особенности аэробной системы

1. Высокая инертность от 2 мин
2. Низкая мощность
3. Высокая емкость
4. Лимитирующие факторы:
 - Дефицит O₂ (доставка)
 - Недостаток митохондрий
5. Хорошо тренируемая система

Аэробная система использует углеводы, жиры и аминокислоты в качестве субстратов окисления

Преимущества при окислении жиров

1. Высокая энергетическая емкость
2. Экономизация глюкозы
3. Низкий уровень лактата

Условие окисления жиров

1. Высокое содержание кислорода в клетках
2. Высокое содержание митохондрий
3. Высокая скорость транспорта жиров в митохондрии

Расщепление жиров

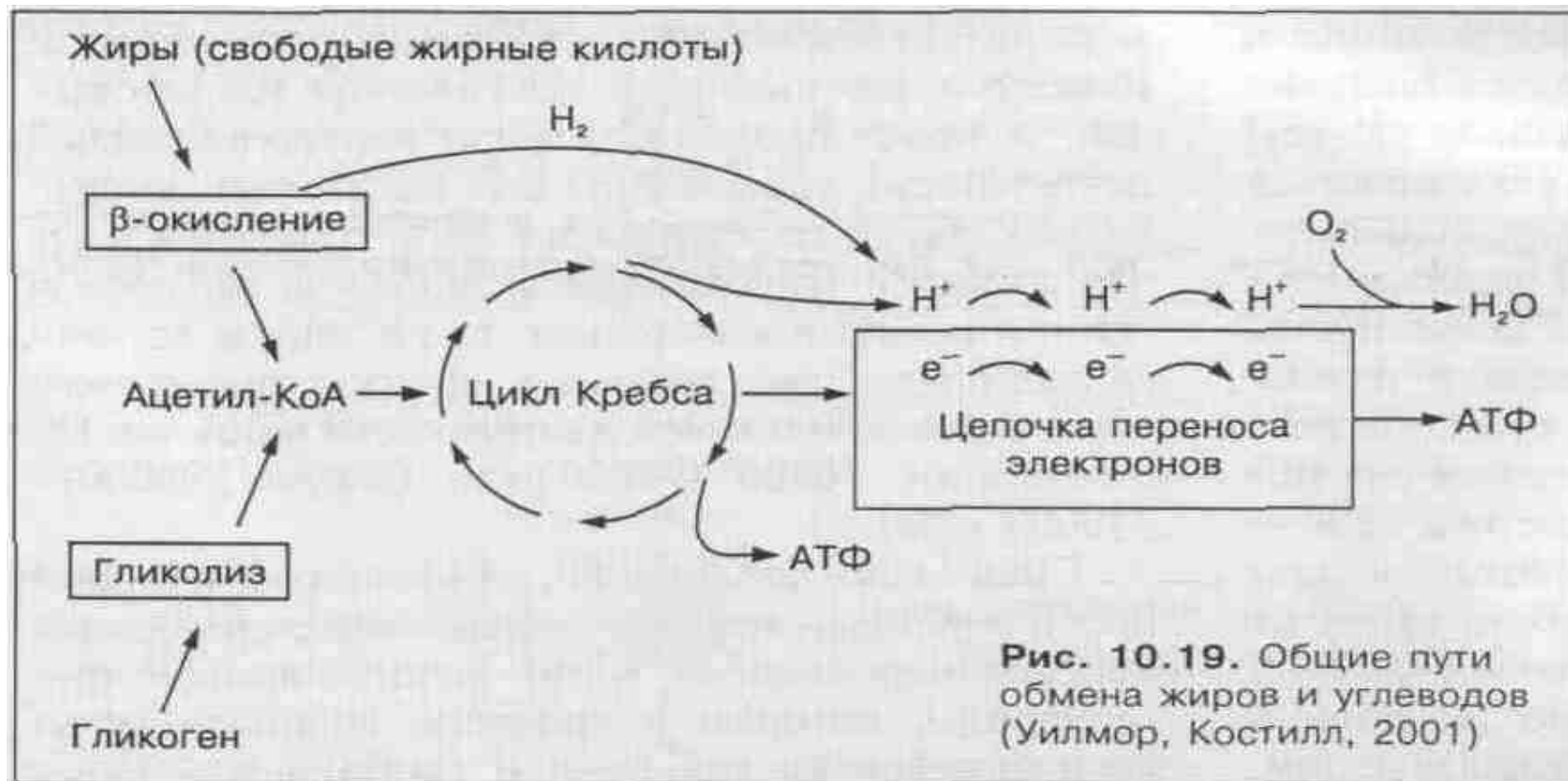
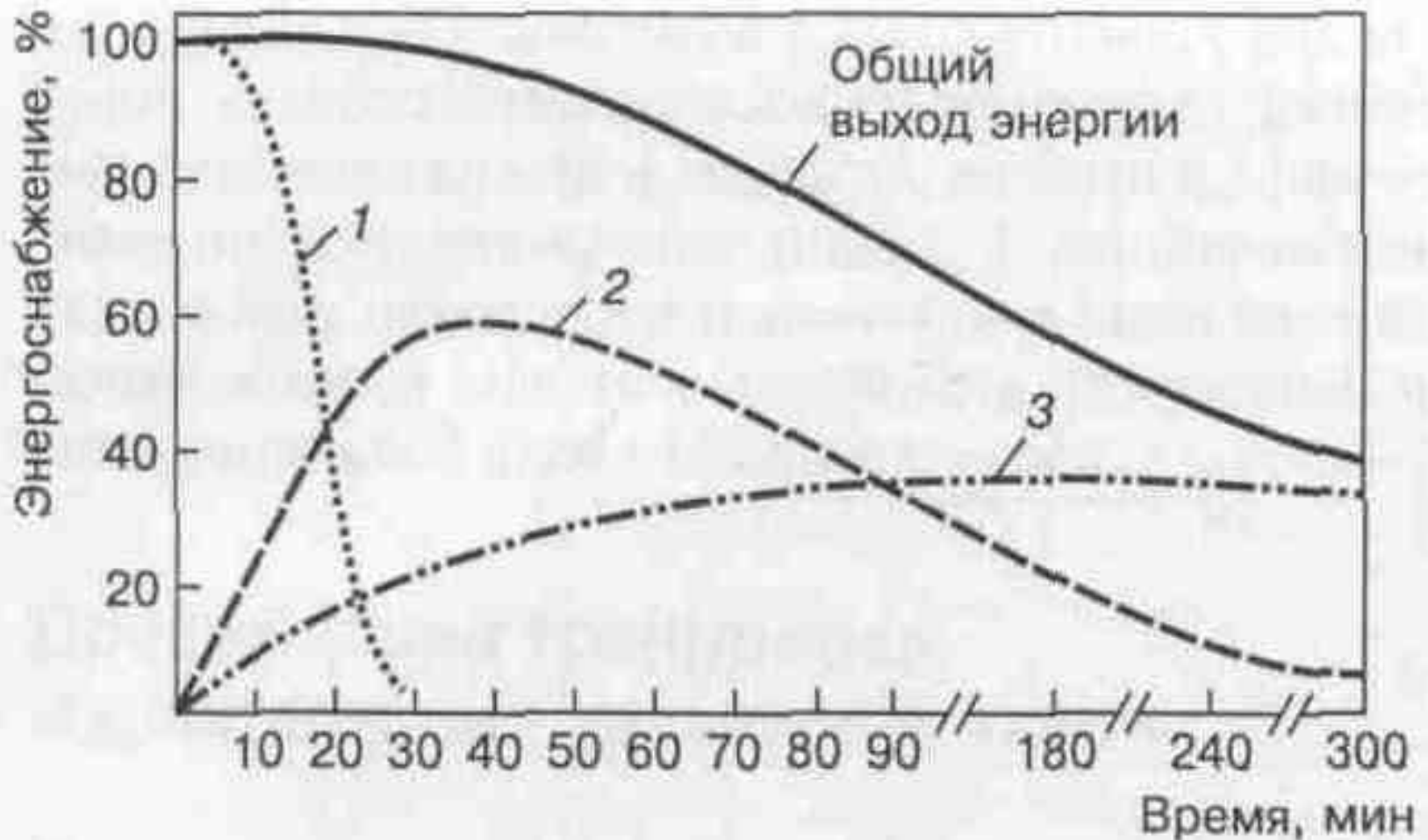


Рис. 10.19. Общие пути обмена жиров и углеводов (Уилмор, Костилл, 2001)

Сопряжение аэробной и анаэробных энергосистем

- 1 – фосфагенная система
- 2- гликолитическая система
- 3 – аэробная окислительная



Анаэробные нагрузки

Выделяются 3 группы анаэробных нагрузок:

1. Максимальной анаэробной мощности (анаэробной мощности)
2. околомаксимальной анаэробной мощности (смешанной анаэробной мощности);
3. субмаксимальной анаэробной мощности (анаэробно-аэробной мощности).

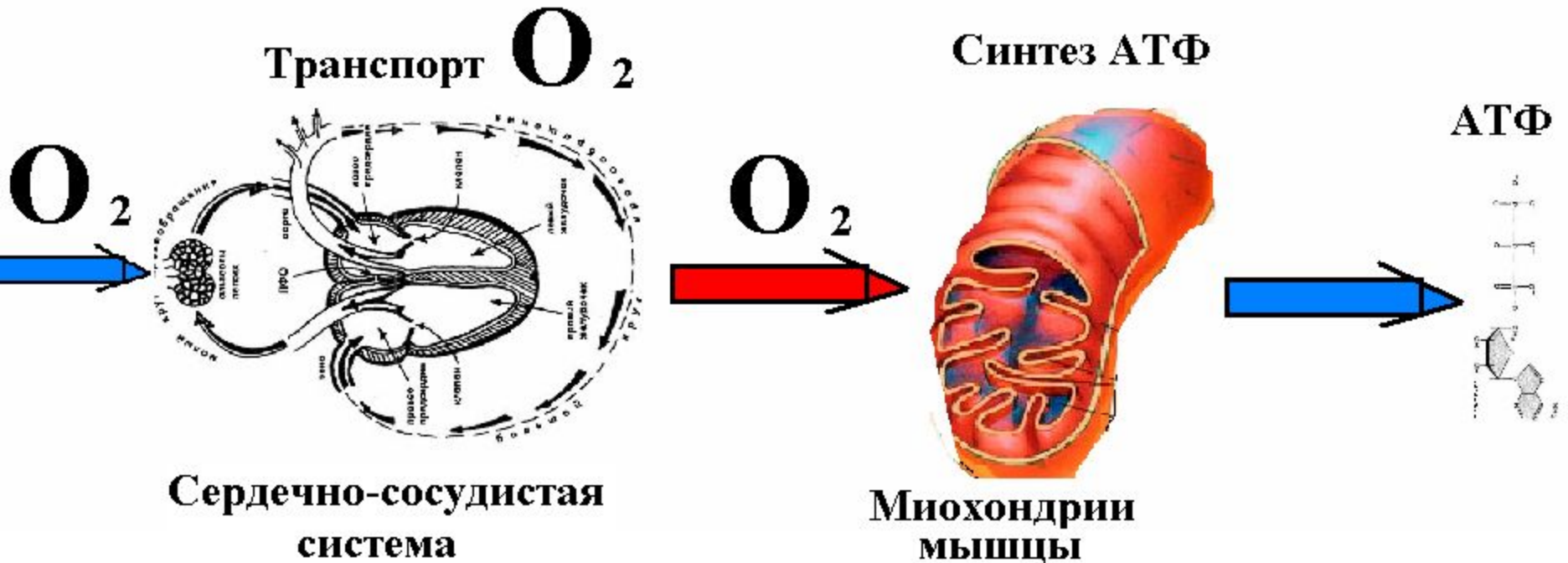
Энергетические и эргометрические характеристики анаэробных нагрузок (По Я.Коцу)

Группа	% Анаэробный компонент энергопродукции	Соотношение трех энергетических систем, %			W ккал /мин	Время с
		Ан фосфагенная	Ан лактацидная	Аэробная		
Максимальной анаэробной мощности	90-100	95	5		120	До 10
Околомакс-ной анаэробной мощности	80-90	70	20	10	100	20-50
Субмаксим-ой анаэробной мощности	70-80	25	60	15	40	60-120

Аэробные нагрузки

критерий максимальное потребление
кислорода - МПК

МПК: основные звенья системы МПК



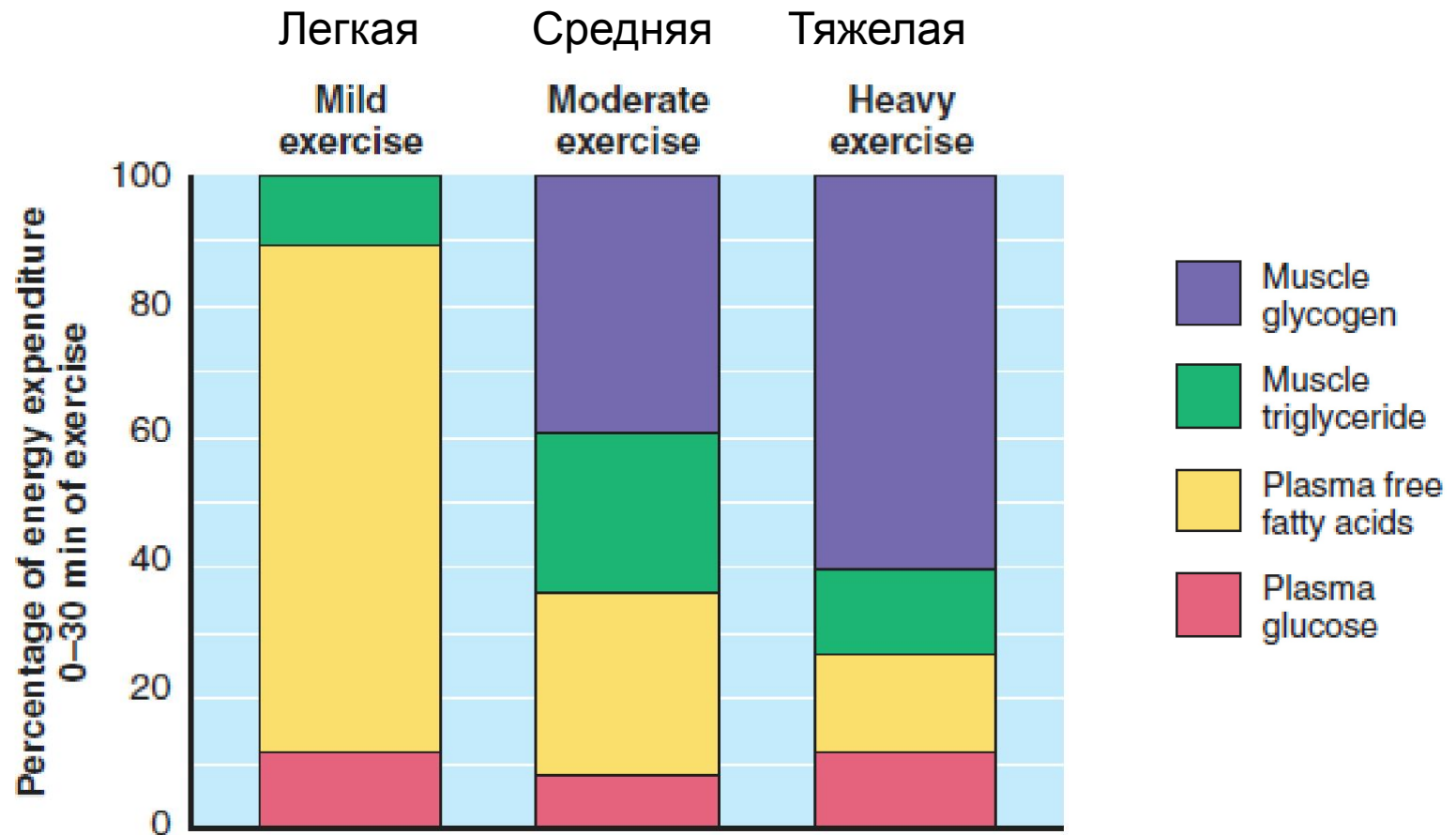
Аэробные нагрузки

1. Максимальной аэробной мощности (95-100% МПК)
2. Околомаксимальной аэробной мощности (85-90% МПК)
3. Субмаксимальной аэробной мощности (70-80% МПК)
4. Средней аэробной мощности (55-65% МПК)
5. Малой аэробной мощности (50% МПК и менее).

Аэробные нагрузки (По Я.Коцу)

Нагрузка	% от МПК	Соотношение энергетических систем, %			Субстраты	W, кал/ми	t, мин
		ФФ	Глк	Кис			
Максимальной аэробной мощности	95-100	10	50	40	Гликоген мышц	25	3-10
Околомаксимальной аэробной мощности	85- 90	5	30	70	Гликоген мышц Жиры мышц Глюкоза крови	20	10-30
Субмаксимальной аэробной мощности	70-80		5	95	Жиры мышц Гликоген мышц Жиры крови Глюкоза крови	17	30-120
Средней аэробной мощности	55-65		2	98	Жиры крови Жиры мышц Гликоген мышц	14	120 240
Малой аэробной мощности	<50			100	Жиры крови Жиры мышц	< 12	> 240

Энергетические субстраты окисления при аэробных нагрузках



Дополнительные характеристики нагрузки

1. По отношению к соревновательному упражнению :

специфические и неспецифические

2. По величине / тяжести:

малые, средние, большие, максимальные

3. По направленности:

скоростные, силовые, на выносливость, на ловкость, на гибкость

4. По относительной мощности:

аэробные и анаэробные

5. По решаемым задачам тренировки:

развивающие, поддерживающие, восстановительные

2. Утомление

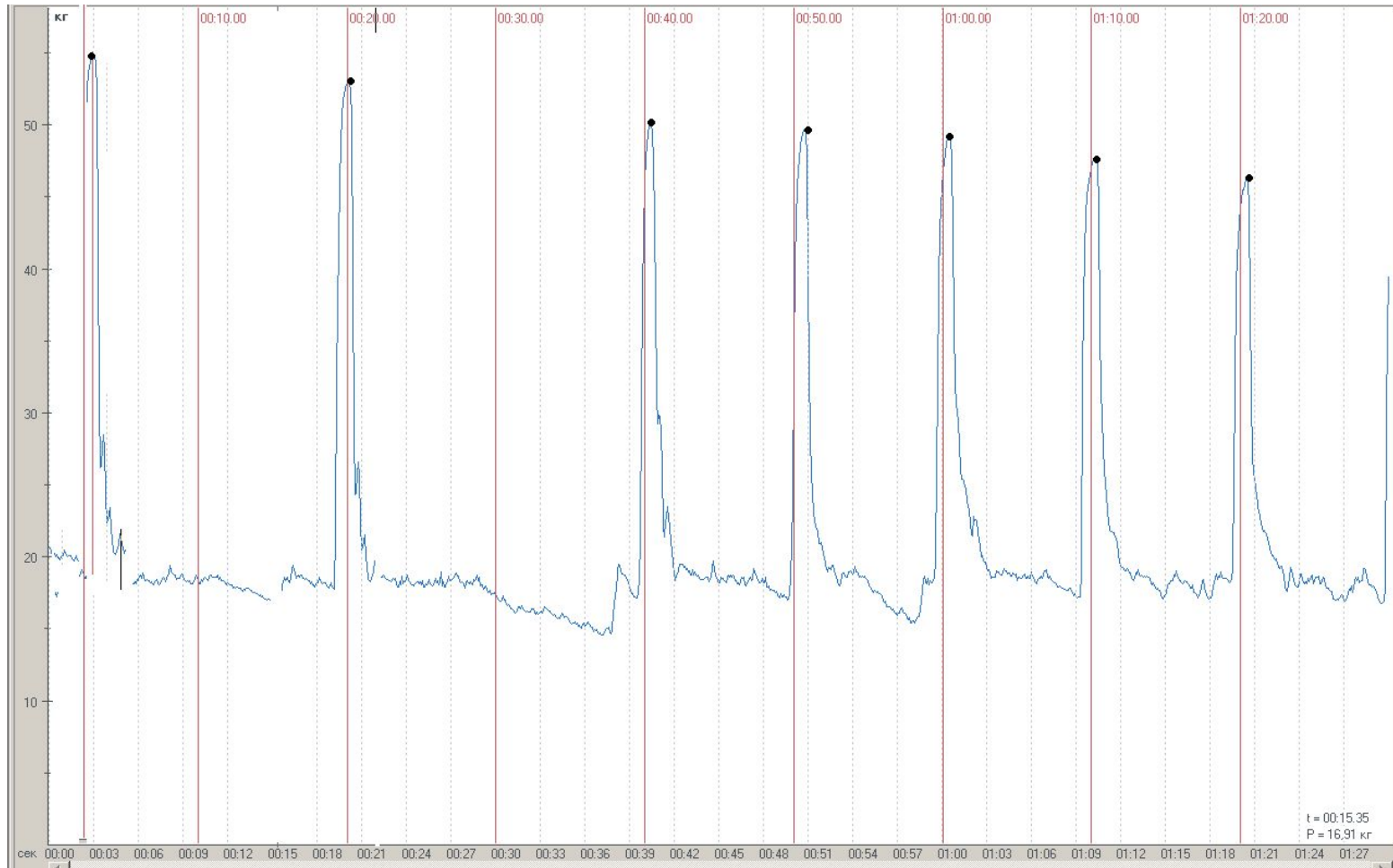
Определение

Физическое утомление – это временное обратимое снижение

- **силы,**
- **скорости,**
- **мощности (произведения силы на скорость сокращений) мышечных сокращений**
- **физической работоспособности в заданном режиме**

в результате выполнения физической нагрузки

Примеры утомления при физической нагрузке: снижение силы максимального кистевого сжатия в течение 80 секунд при работе 35% от максимального кистевого сжатия



Виды утомления

По устойчивости и длительности восстановления утомления:

1. острое утомление
 2. хроническое утомление
- ***Острое утомление*** – кратковременное утомление, возникающее во время и сразу после интенсивной работы, характеризующееся общим снижением работоспособности.
 - ***Хроническое утомление*** - совокупность стойких функциональных нарушений в организме человека, возникающих в результате многократно повторяющегося чрезмерного острого утомления, не исчезающих за время отдыха.
Хроническое утомление:
 - **перенапряжение,**
 - **перетренировки**

Виды утомления

По количества мышц и систем, вовлеченных в утомление:

1. Локальное утомление
 2. Общее утомление
- **Общее утомление** – вид утомления, которое вызвано участием в работе $> 50\%$ мышц и характеризуется вовлечением в процесс утомления 1) крупных мышечных групп, 2) ЦНС, 3) истощением энергетических ресурсов, 3) значительным накоплением недоокисленных продуктов энергетического метаболизма в циркуляции.
 - **Локальное утомление** – вид утомления, которое вызвано участием в работе $< 20\%$ мышц и характеризуется локализацией утомления в конкретных мышечных группах. Локальное утомление развивается при узконаправленной работе, например, при участии отдельных мышечных групп

Виды утомления

По месту локализации основной причины утомления:

1. центральное
2. периферическое

Центральное утомление

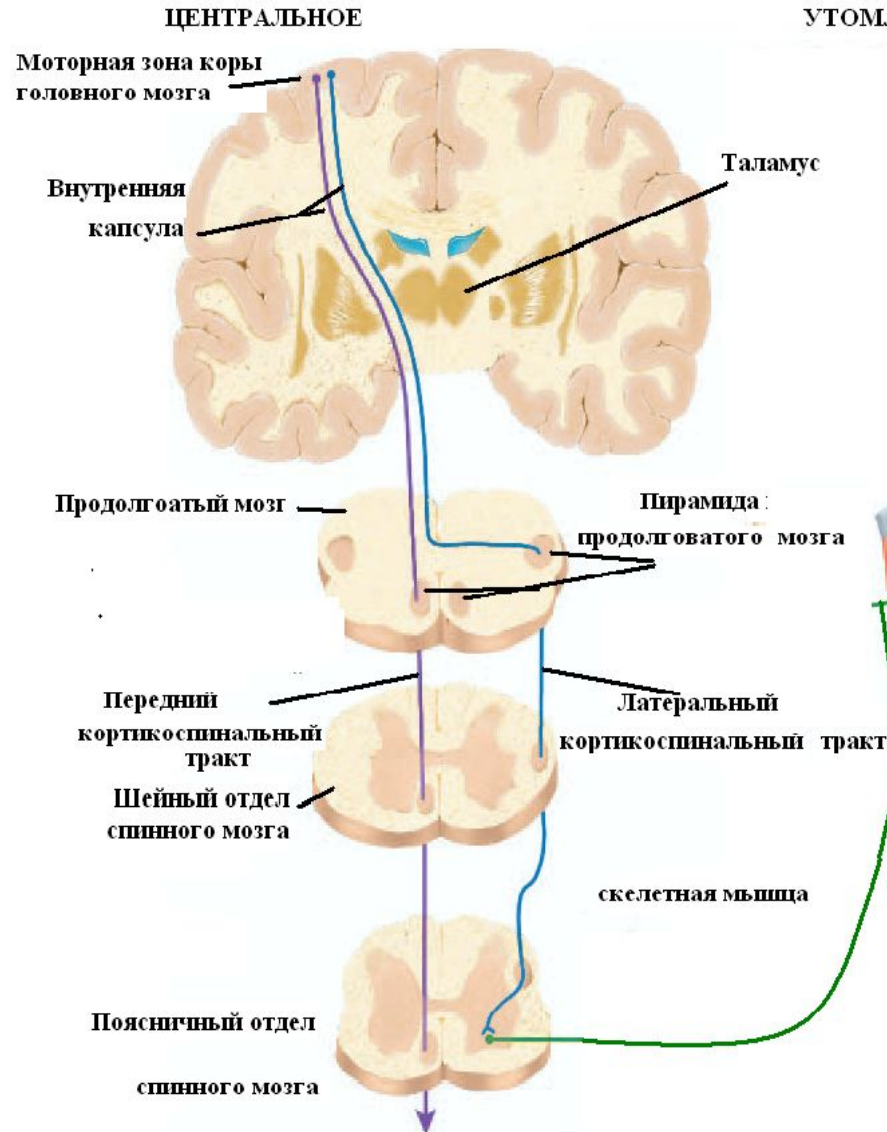
- все процессы в ЦНС, которые ведут к снижению нервной активации моторных единиц и развитию утомления относятся к центральному утомлению

Периферическое утомление

- все процессы, которые ведут к снижению сократительных способностей внутри мышечного волокна относятся к периферическому утомлению.

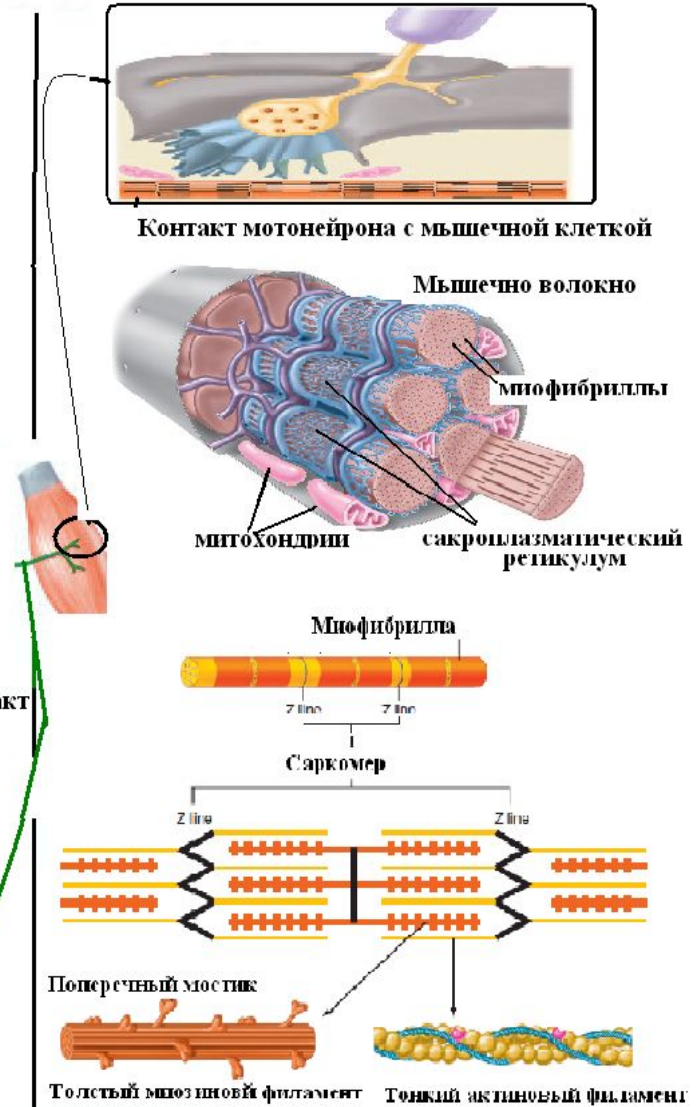
ЦЕНТРАЛЬНОЕ

ПЕРИФЕРИЧЕСКОЕ

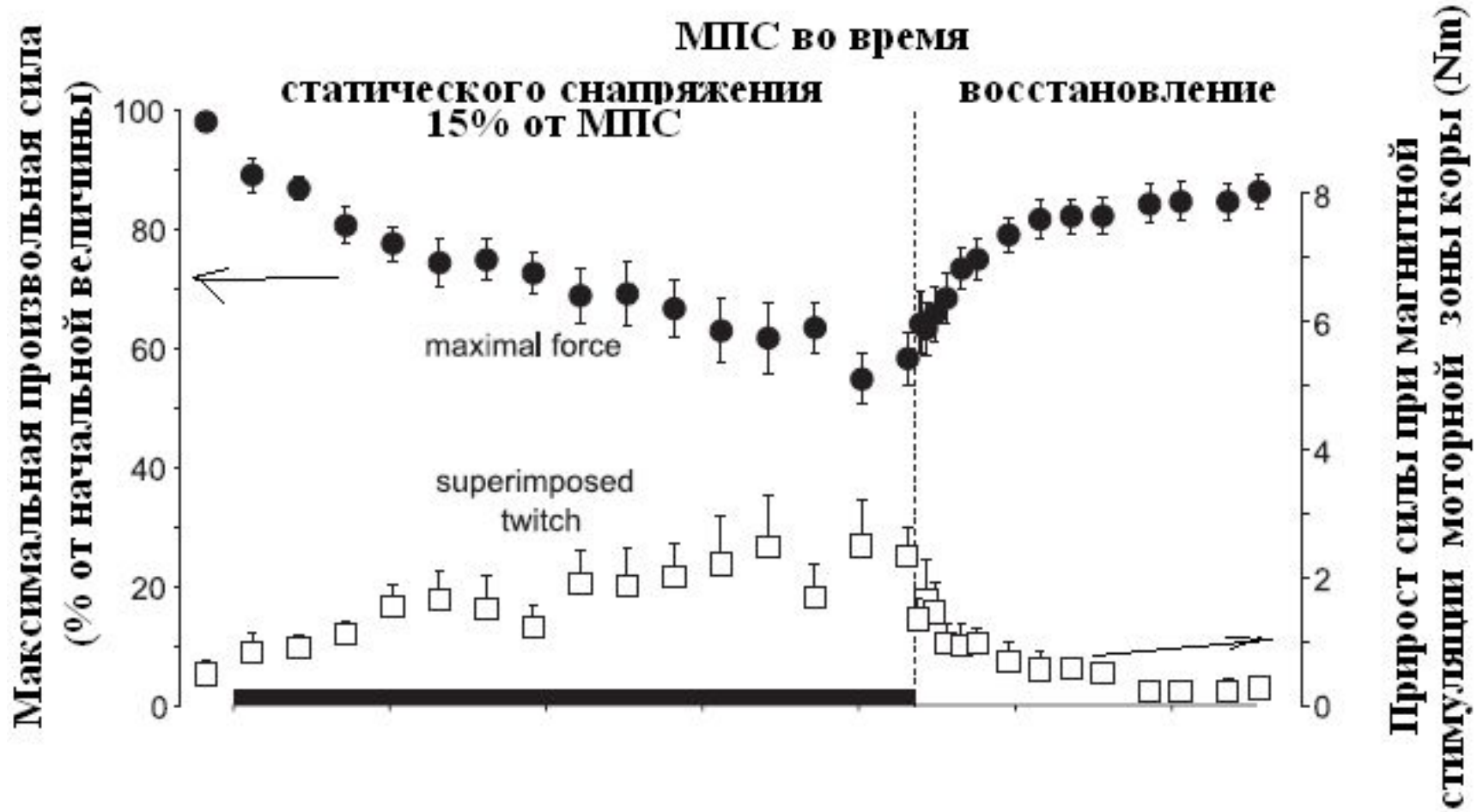


УТОМЛЕНИЕ

ПЕРИФЕРИЧЕСКОЕ



Доказательство развития утомления в ЦНС (сгибание локтя)



Причины центрального утомления



1. Гипоксия головного мозга

Гипоксия головного мозга является важным фактором в развитии неспособности двигательной коры к активации мотонейронов

Общая гипоксия организма при умеренных мышечных напряжениях не играет важной роли в развитии центрального утомления.

Значение кислорода связано с его ролью в синтезе энергии – АТФ. Поскольку головной мозг использует, главным образом, аэробные источники энергообразования, то дефицит кислорода и последующий дефицит АТФ являются важными факторами центрального утомления.

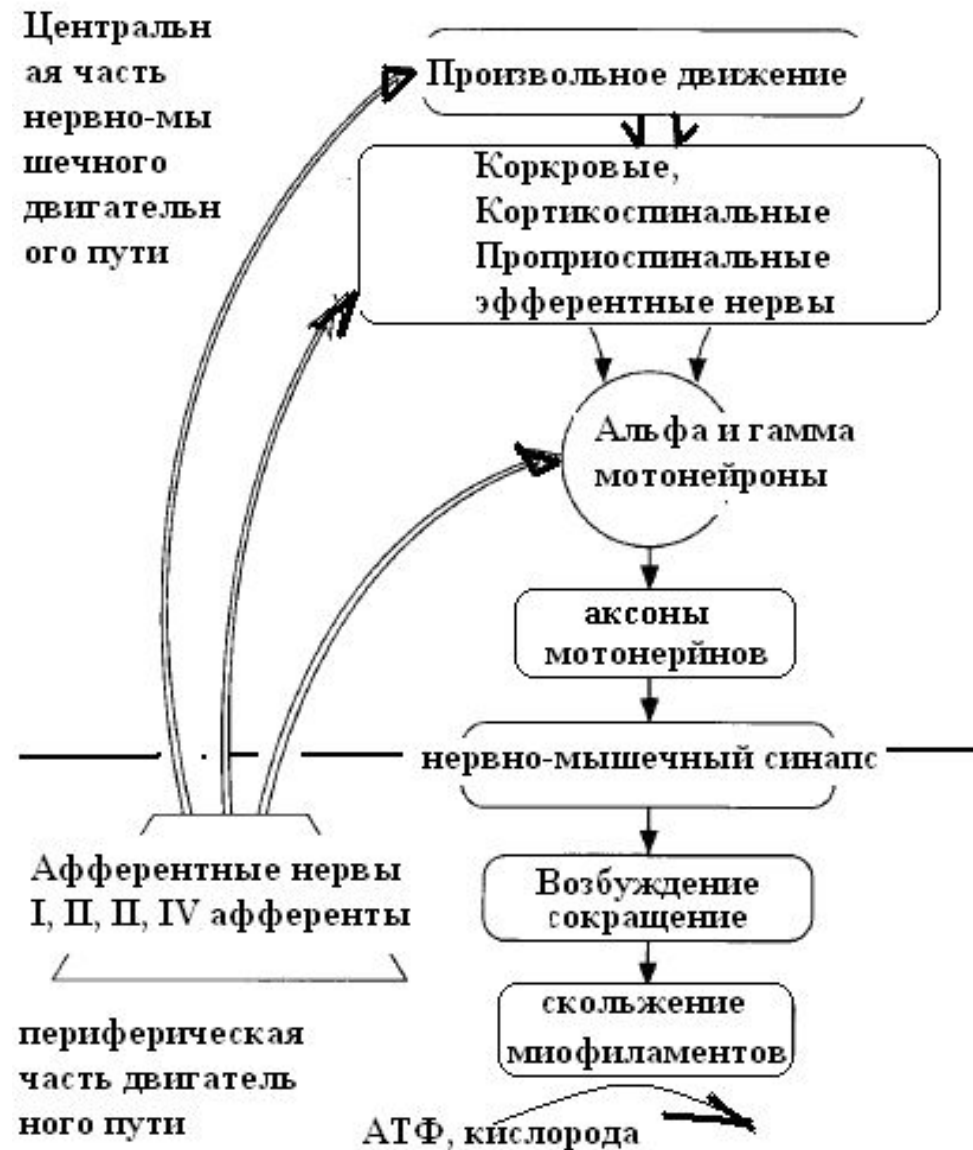
Причины центрального утомления

2. Метаборефлекс и метаболиты рабочих мышц

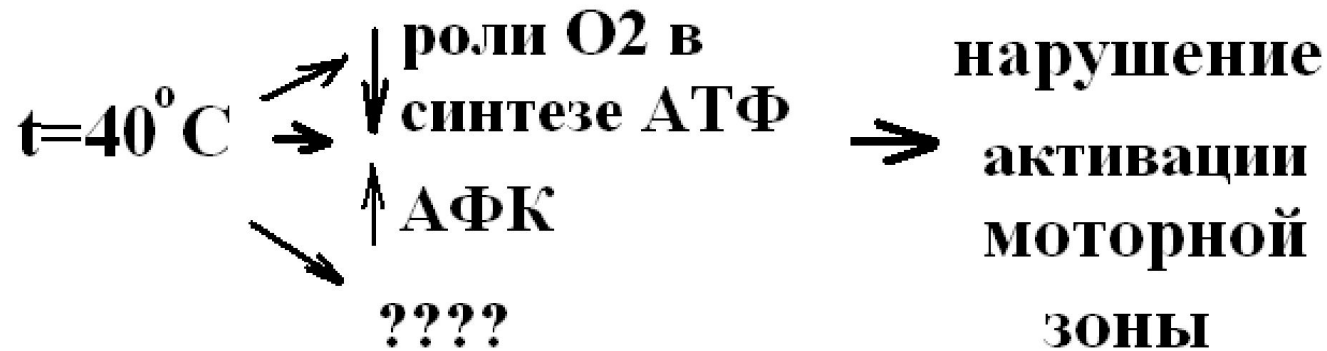
Метаболические вещества утомления, накапливающиеся в мышцах, через раздражение мышечных афферентных нейронов III и IV типов могут обеспечивать тормозной эффект на моторную зону ЦНС, что снижает частоту раздражения мотонейронов и максимально-произвольную силу сокращений.

Метаболиты: ионы водорода, лактат, ионы калия, неорганический фосфор и другие

Метаборефлекс – рефлекторное торможение ЦНС мышечными метаболитами



Причины центрального утомления



3. Повышение температуры ядра тела (внутренняя часть туловища) и головного мозга

Повышение температуры ядра тела и головного мозга играет важную роль в торможении моторной зоны коры головного мозга и развитии центрального утомления.

При температуре ядра тела равной 40-40,5 °С наступает отказ от физической работы при глобальных упражнениях, как у спортсменов, так и нетренированных лиц. Увеличение температуры мозга прямо активирует развитие центрального утомления в гипоталамусе, что проявляется торможением способности моторной зоны коры головного мозга к активации моторных единиц.

Причины центрального утомления



4. Истощение глюкозы в крови

Снижение уровня глюкозы крови и гликогена в головном мозге – могут участвовать в развитии центрального утомления.

При длительных аэробных нагрузках (более 1,5 часа) происходит снижение уровня мышечного гликогена, что вызывает существенное потребление мышцами глюкозы из крови. Истощение гликогена в печени ведет к снижению уровня глюкозы в крови и уменьшению ее доставки в ЦНС, что является важной причиной центрального утомления при длительных физических нагрузках

5. Нейротрансмиттеры (гормоны в ЦНС)

- **Снижение уровня стресс-гормонов, катехоламинов (адреналин и норадреналин).**

Утомление развивается при уменьшении концентрации норадреналина в головном мозге.

- **Увеличение уровня серотонина.**

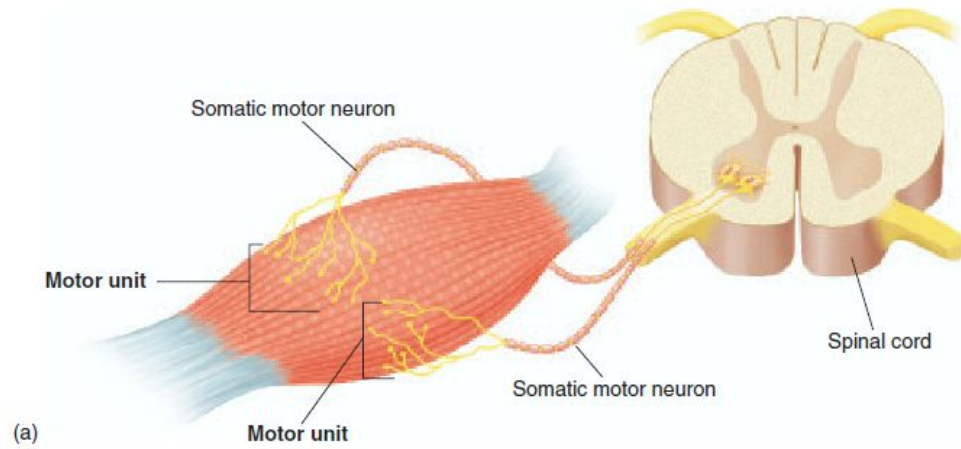
Высокий уровень серотонина в ЦНС может быть причиной центрального утомления при длительных физических нагрузках (более 1-1,5 часа). Серотонин тормозит активность различных отделов головного мозга, вызывая сон.

- **Цитокины**

Провоспалительные цитокины интерлейкин-6 интерферон-альфа снижают активацию моторной зоны ЦНС

Периферическое утомление - процессы, которые ведут к снижению сократительных способностей внутри мышечного волокна

Анатомия мышц



1

2

3



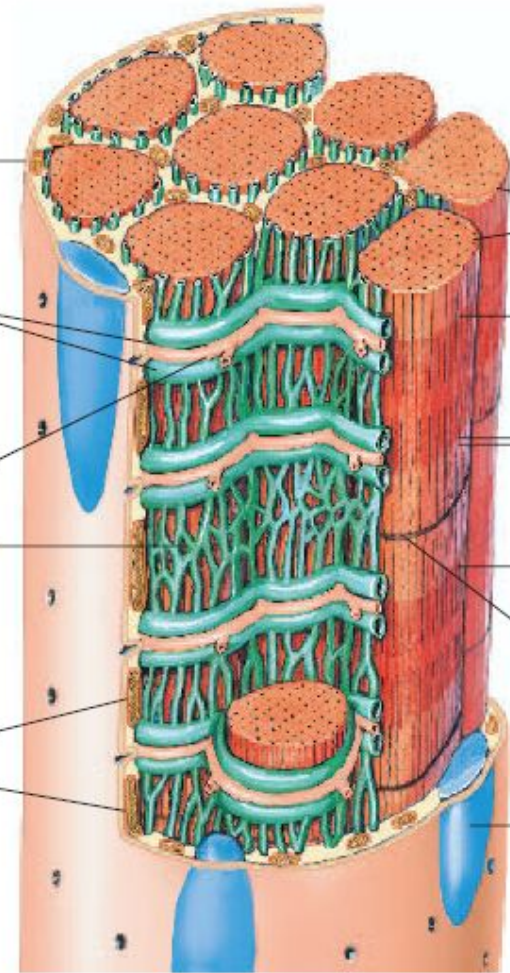
Sarcolemma

Terminal cisternae

Transverse tubule

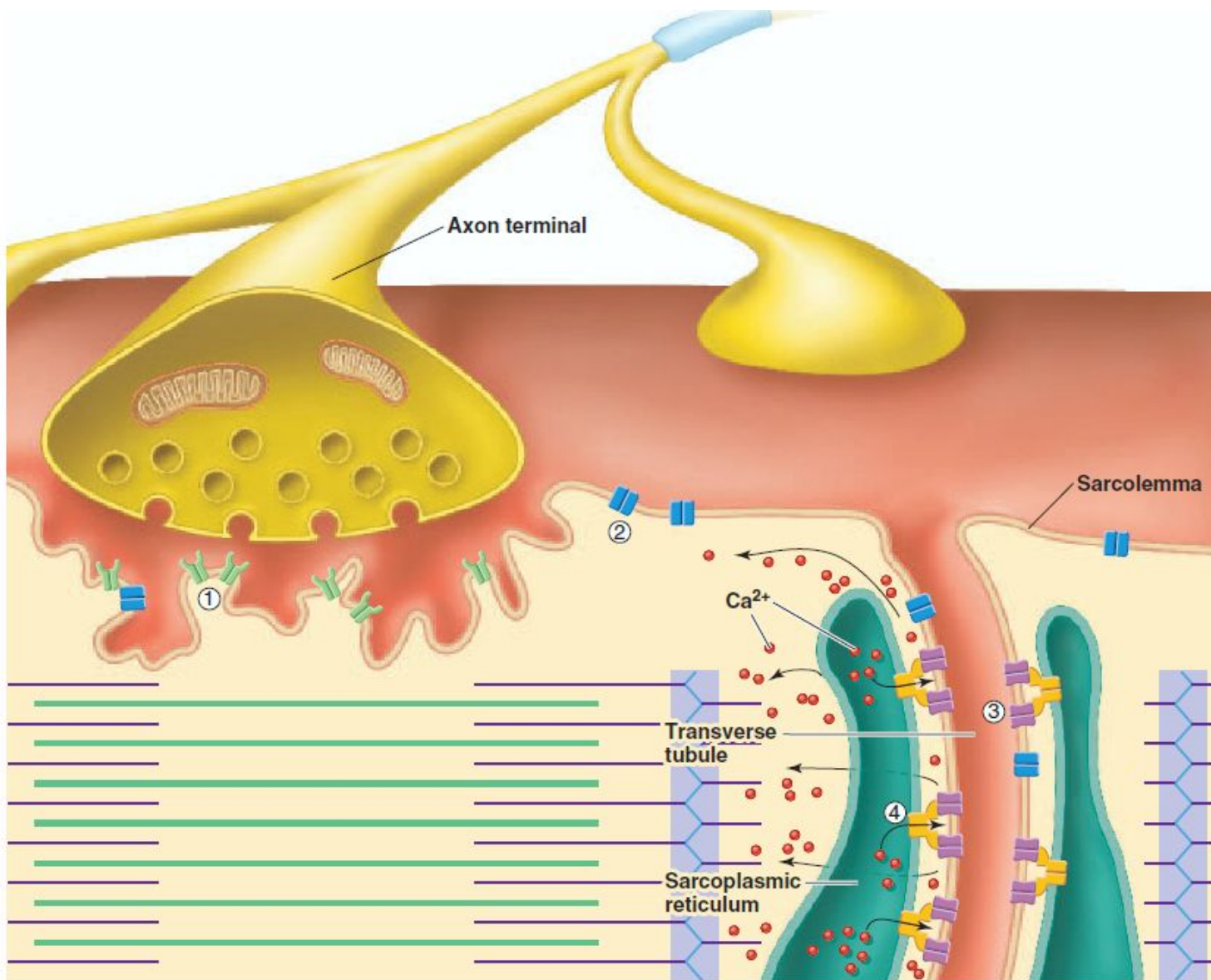
Sarcoplasmic reticulum

Mitochondria

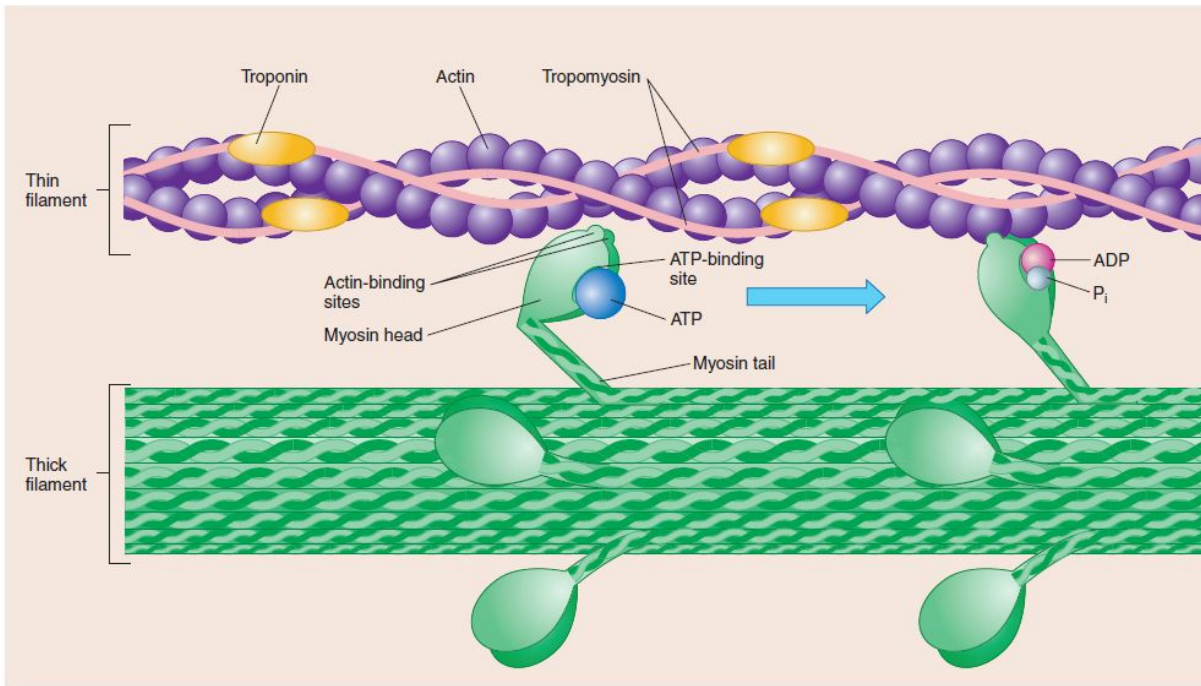


Myofibril

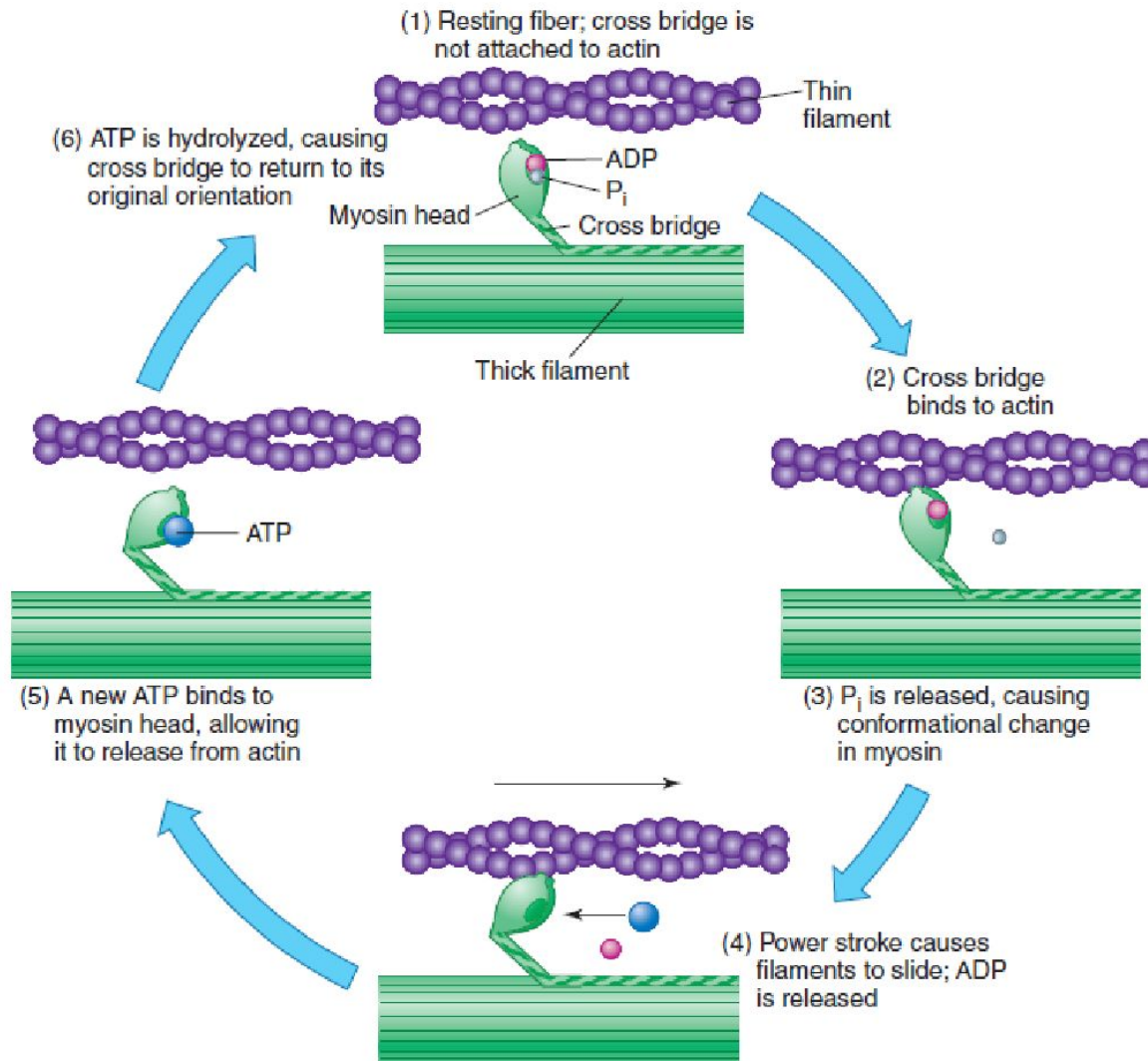
Механизм мышечного сокращения: выделение ионов кальция



Механизм скольжения актина по миозину роль АТФ и тропонина



ЦИКЛ АТФ В МИОВОЛОКНЕ



Внутриклеточные процессы при мышечном сокращении

1. Деполяризация мембраны м. волокна.
2. Проведение н. импульса по Т-трубочкам внутрь волокна и передача импульса на саркоплазм-кий ретикулум - СР
3. **Выброс ионов кальция из СР в цитоплазму волокна.**
4. **Взаимодействие ионов кальция с тропонином (миозином)**
5. Соединение актина и миозина под влиянием кальция
6. **Расщепление АТФ миозиновой АФТ-азой**
7. **Скольжение актина по миозину.**

Метаболические факторы утомления: неорганический фосфор

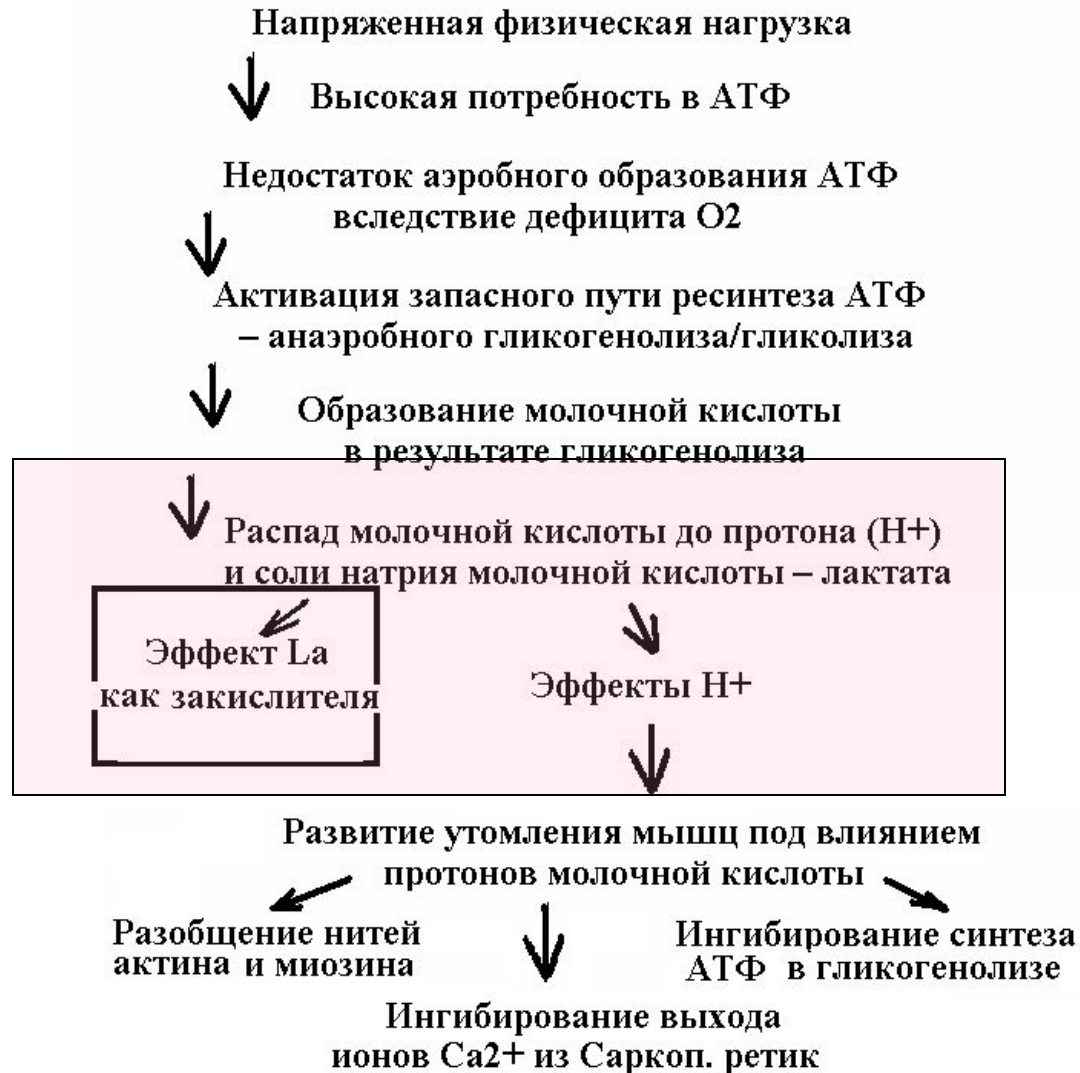


Механизмы утомления под влиянием Фн включают:

1. Высокий уровень Фн в цитоплазме блокирует отделение Фн от миозиновой головки на актине, что уменьшает силу поворота миозиновой головки.
2. Фн снижает чувствительность миофибрилл к ионам кальция.
3. Фн уменьшает выброс ионов кальция из саркоплазматического ретикулума. (комплекс «Фн-Са²⁺»).

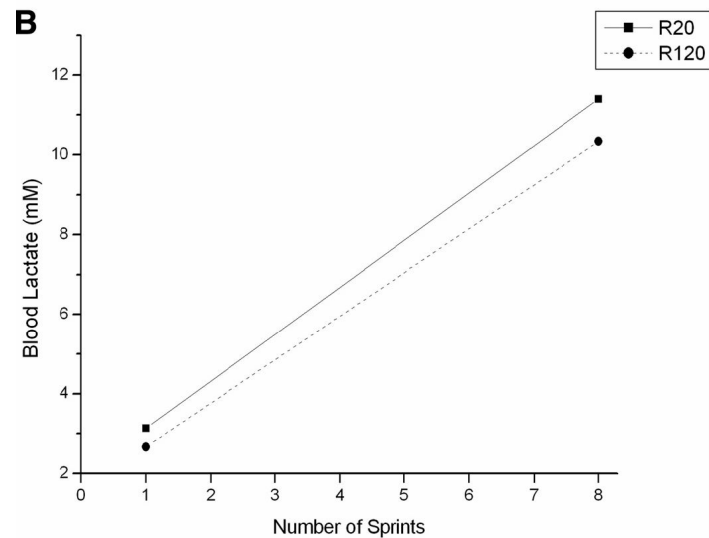
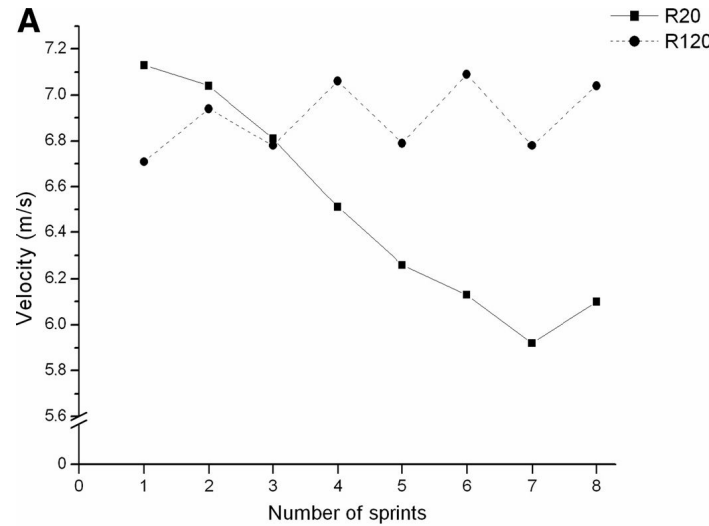
Таким образом, высокий уровень Фн блокирует действие кальция на миофиламенты, предупреждая сокращение.

Концепция молочной кислоты как главного фактора закисления при напряженной мышечной деятельности



Доказательства об отсутствии эффекта лактата

Скорость бега на 30 м снижается только при 20 сек восстановлении и почти не меняется при 120 сек восстановлении, однако концентрация лактата в крови увеличивается одинаково в обеих группах. При равном увеличении лактата скорость снижалась не одинаково.



Факты по образованию лактата

- Лактат и молочная кислота разные вещества
- Молочная кислота не образуется в организме в физиологических условиях – образуется лактат
- Ионы H^+ образуются на этапе до пирувата, при образовании лактата они почти все исчезают из клеток
- Само образование лактата вызывает снижение количества атомов H^+ (защелачивание)
- Накопление лактата и закисление происходят параллельно



За кислeние – ионы водорода H^+

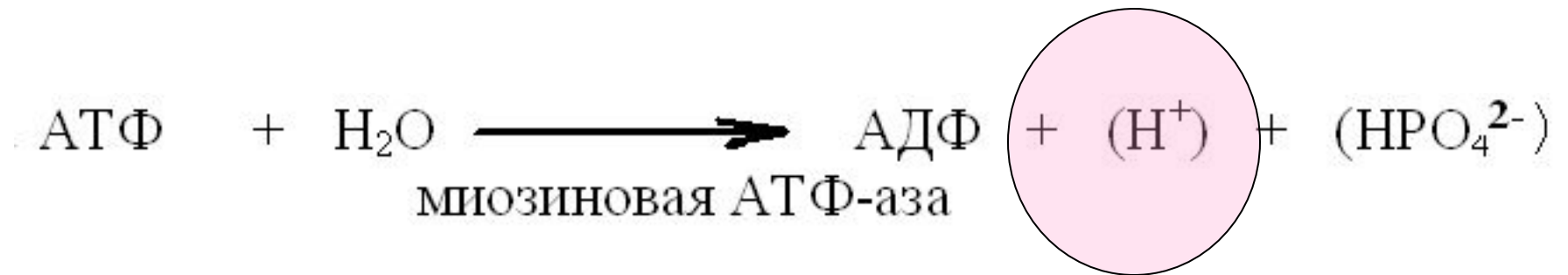
Причины образования H^+ .

- Во многих литературных источниках указывают на молочную кислоту как главный источник образования H^+ . Однако, как показано выше, это предположение на сегодняшний день не имеет прямых подтверждений. С биохимической точки зрения, в процессе анаэробного гликолиза происходит образование иона-лактата, но не молочной кислоты.

Основные пути образования H^+ :

- H^+ образуются в ходе расщепления АТФ миозиновой АТФ-азой – основной путь.
- H^+ образуются при анаэробном расщеплении глюкозы/гликогена на этапе ее превращения в пируват – дополнительный путь.

H⁺ образуются в ходе расщепления АТФ
миозиновой АТФ-азой – основной путь



Н⁺ образуются при анаэробном расщеплении глюкозы/гликогена на этапе ее превращения в пируват – дополнительный путь

Реакции гликолиза до образования пирувата		Н ⁺
<i>G6P from glycogen</i>		
0-1	Glycogen _n + Pi ²⁻ → Glycogen _{n-1} + Glucose 1-phosphate	
0-2	Glucose 1-phosphate → Glucose 6-phosphate	
<i>G6P from glucose</i>		
0-2-2	Glucose + MgATP ²⁻ → Glucose 6-phosphate ²⁻ + MgADP ⁻ + H ⁺	+ 1
<i>Glycolysis</i>		
1	Glucose 6-phosphate ²⁻ → fructose 6-phosphate ²⁻	
2	Fructose 6-phosphate ²⁻ + MgATP ²⁻ → fructose 1,6-bisphosphate ⁴⁻ + MgADP ⁻ + H ⁺	+ 1
3	Fructose 1,6-bisphosphate ⁴⁻ → Dihydroxyacetone phosphate + Glyceraldehyde 3-phosphate ²⁻	
4	Dihydroxyacetone phosphate → Glyceraldehyde 3-phosphate ²⁻	
5	2 Glyceraldehyde 3-phosphate ²⁻ + 2NAD ⁺ + 2Pi ²⁻ → 2 1,3-bisphosphoglycerate ⁴⁻ + 2 NADH + 2 H ⁺	+ 2
6	2 1,3-bisphosphoglycerate ⁴⁻ + 2 MgADP ⁻ → 2 3-phosphoglycerate ³⁻ + 2 MgATP ²⁻	
7	2 3-phosphoglycerate ⁴⁻ → 2 2-phosphoglycerate ⁴⁻	
8	2 2-phosphoglycerate ³⁻ → 2 phosphoenolpyruvate ³⁻ + 2H ₂ O	
9	2 phosphoenolpyruvate ³⁻ + 2 MgADP ⁻ + 2 H ⁺ → 2 pyruvate ⁻ + 2 MgATP ²⁻	- 2
Итого 2 Н⁺		

Роль H^+ в качестве фактора утомления

Прямые эффекты в развитии утомления введенных атомов H^+ в мышцы включают следующие процессы.

1. В физиологических условиях, то есть при температуре $t=35-37\text{ }^{\circ}\text{C}$ H^+ снижают силу сокращений, но только на 15 % от максимальной.
2. H^+ умеренно (до 10%) снижает чувствительность сократительного аппарата мышц к ионам Ca^{2+} .
3. H^+ незначительно тормозит выделение ионов Ca^{2+} из саркоплазматического ретикулума.
4. H^+ умеренно ингибируют скорость гликолиза и образование АТФ.

РОЛЬ H^+ в развитии утомления ПРЕУВЕЛИЧЕНА

АТФ

все процессы, ведущие к уменьшению синтеза АТФ – вызывают ускорение утомления

снижение АТФ

- резко снижает выброс ионов кальция в цитоплазму.
- уменьшает количество поперечных мостиков между сократительными миофиламентами.

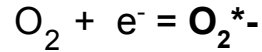
Активные формы кислорода (АФК) и утомление

Биохимические реакции образования АФК

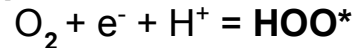
Активные формы кислорода (АФК) образуются в результате одно-, двух- и трех-электронного восстановления кислорода.

Виды АФК:

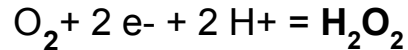
1) *супероксиданион* ($O_2^{\cdot-}$) - одноэлектронное восстановление кислорода ведет к образованию АФК - $O_2^{\cdot-}$



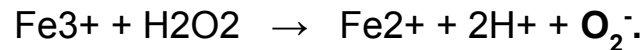
гидропероксильного радикала (HO_2^{\cdot}): $e + H$



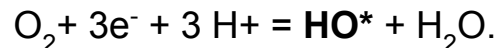
2) *пероксид водорода* (H_2O_2): двух-электронное восстановление кислорода при участии водорода ведет к образованию H_2O_2



Гидроксильный радикал - OH^{\cdot} - из пероксида водорода



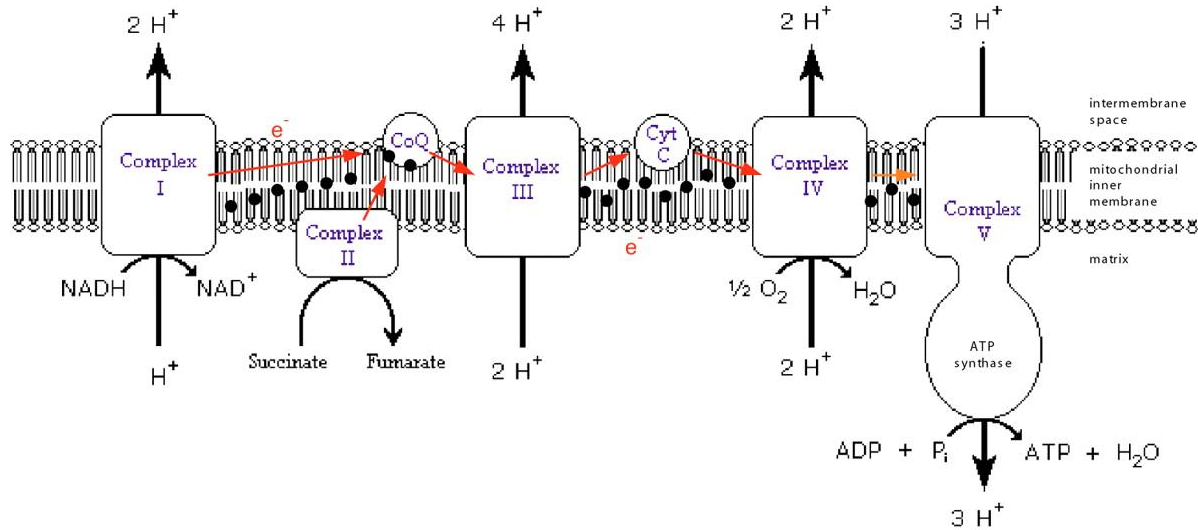
3) *гидроксильный радикал* (HO^{\cdot}): Трех-электронное восстановления кислорода ведет к образованию сильной АФК - HO^{\cdot}



Четырех-электронное восстановление кислорода ведет к образованию нерадикальной молекулы воды: H_2O .

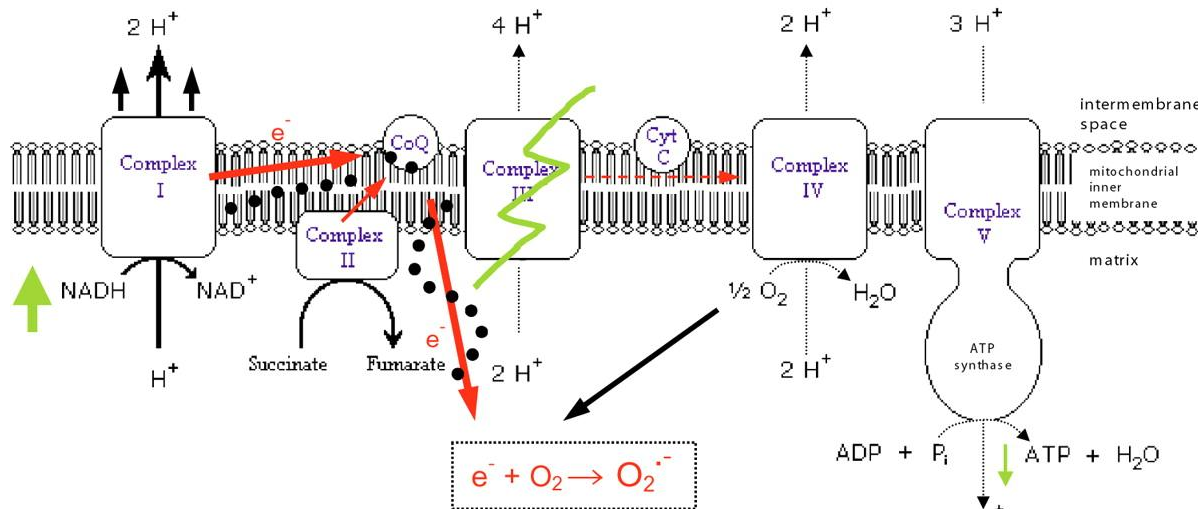
Митохондриальный путь образования АФК

a) COUPLED ELECTRON TRANSPORT AND OXIDATIVE PHOSPHORYLATION
in the physiological state



← Нормальное окисление в МИТОХОНДРИЯХ

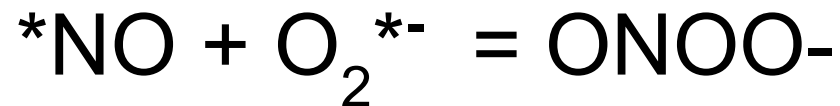
b) UNCOUPLED ELECTRON TRANSPORT AND OXIDATIVE PHOSPHORYLATION
in diabetes



← Образование АФК в ходе разобщения транспорта протонов и электронов в МИТОХОНДРИЯХ

Активные формы азота NO-

Из оксида азота может формироваться очень сильная окислительная форма азота – **пероксинитрит (ONOO-)** в реакции с супероксиданионом:

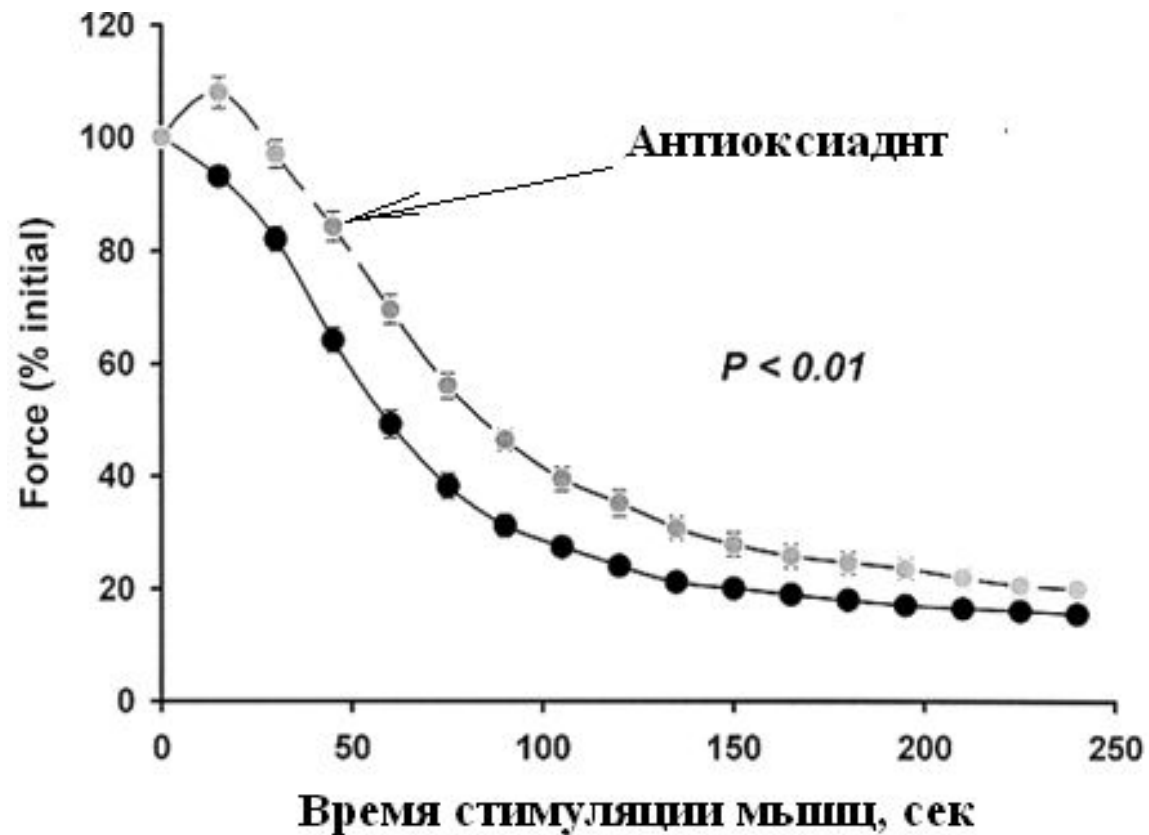


АФК и утомление мышц

АФ Кислорода и АФ Азота

1. Тормозят аэробное и анаэробное (гликолиз и КрФ) образование АТФ
2. Выделение ионов кальция
3. Кальциевую чувствительность сократительных белков

Добавление антиоксидантов сохраняет работоспособность



Метаболиты и утомление

Метаболиты (водород, фосфор, АФК, магний и АДФ) не действуют изолированно, но проявляют свой эффект совместно, обеспечивая надежное торможение мышечных сокращений – утомление

Косвенные факторы, влияющие на утомление

Тип мышечных волокон и утомление

**I тип – медленные
оксидативные волокна**

++ Много кальция

-- Расход АТФ

++ Миоглобина

++ Митохондрии

++ Капилляризация

**++ Транспорт водорода из
клеток**

**IIx тип – быстрые
гликолитические волокна**

**-- Много мест связывания
кальция**

-- Запасы кальция

-- Миоглобин

- Митохондрий

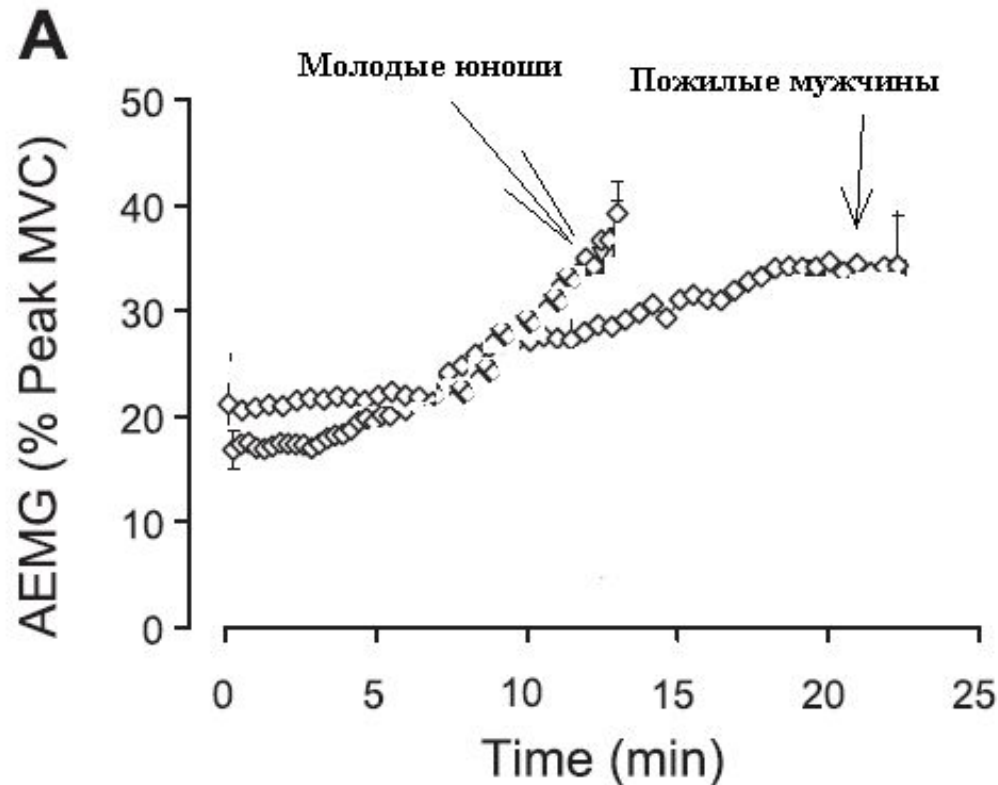
- Капилляризация

Температура и утомление

- Развитие **центрального утомления** в ЦНС в результате увеличения температуры ядра тела и температуры мозга
- **Снижение производительности сердца**, что уменьшает мышечный кровоток и доставку кислорода рабочим мышцам.
обусловлены, главным образом, оттоком крови на периферию и снижением ее возврата
- **Дегидратация организма** и уменьшение объема крови, также вызывающий снижение венозного возврата крови к сердцу)

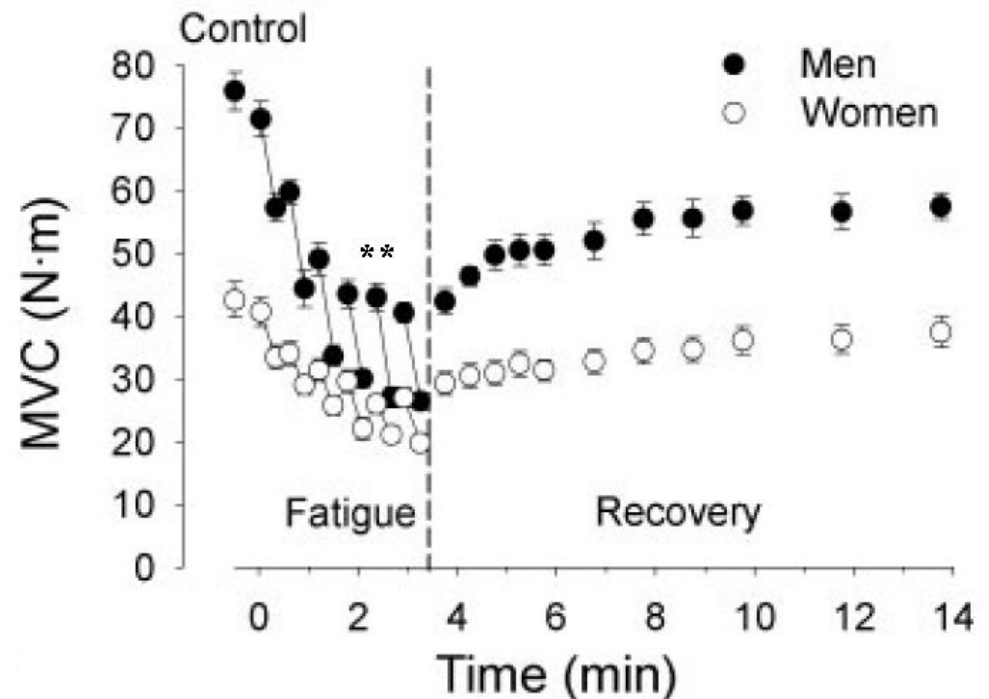
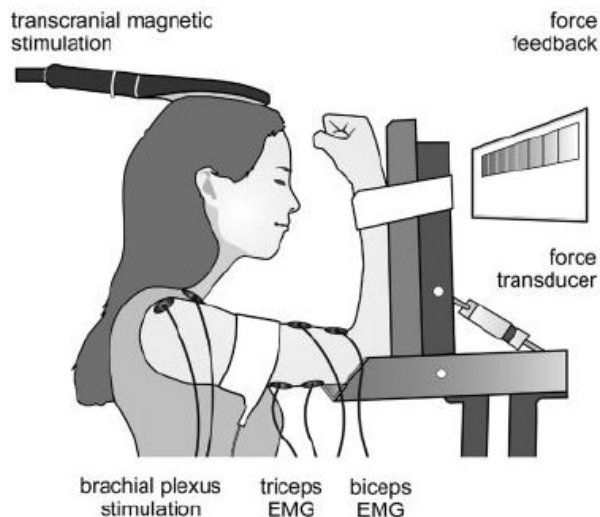
Зависимость утомления от условий мышечных сокращений

- **Возрастной парадокс утомления:**
при относительно равном статическом напряжении (20% от МПС) длительность поддержания напряжения выше у пожилых мужчин, чем у молодых



Зависимость утомления от условий мышечных сокращений

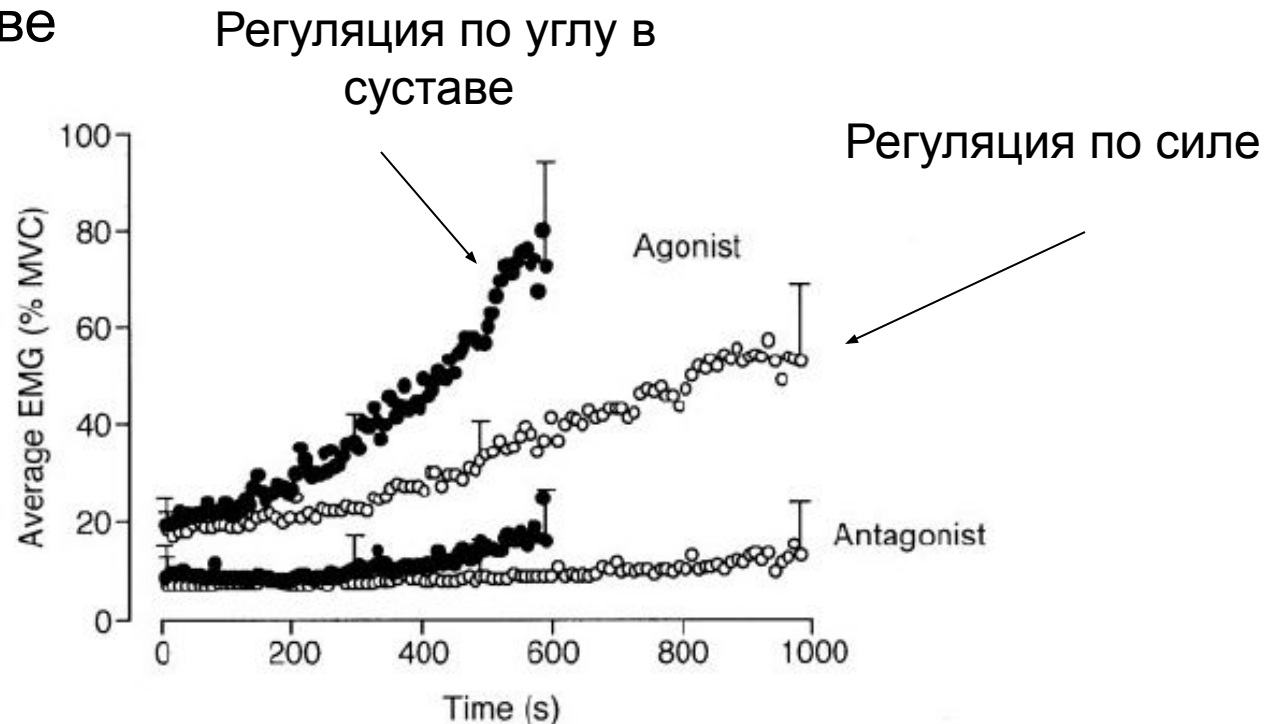
- **Половой парадокс утомления:** у девушек при низкой индивидуально-стандартной нагрузке (20% от МПС) снижение силы было ниже и они способны дольше выполнять упражнение



Зависимость утомления от условий мышечных сокращений

Зависимость от регуляции силы:

- Специфика задания: регуляция нагрузки (20% от MAX) по силе сокращения или по углу в локтевом суставе.
- Длительность удержания по силе была дольше, чем по углу в суставе



Заключение: утомление

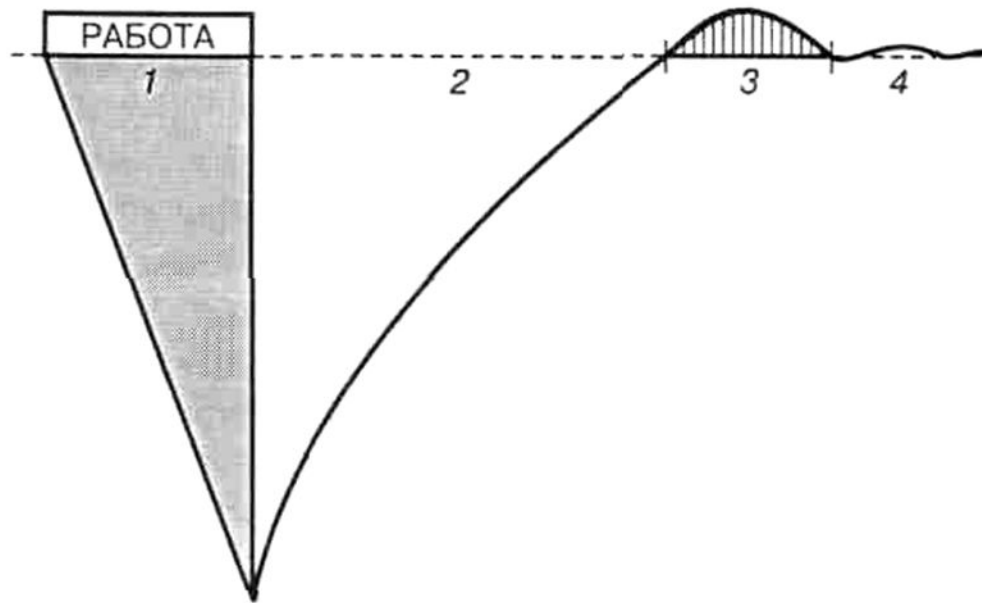
- Утомление – это снижение сократительных свойств мышц
- Механизмы развития утомления включают утомление в ЦНС и утомление в мышцах
- Многофакторность утомления определяет его жесткую зависимость от условий мышечной деятельности

Восстановление после физических нагрузок

Восстановление — физиологический процесс, развивающийся в ответ на утомление и направленный на восстановление нарушенного гомеостаза и работоспособности.

Фазы восстановления

1. Срочное восстановление
2. Замедленное восстановление
3. Сверхвосстановление или суперкомпенсация.
4. Стабилизация



Срочное восстановление

1. Период восстановления – до 30 мин

Подфазы:

- 1 фаза 2 мин - восстановление оперативной работоспособности (АТФ и КФ, до ЧСС120 уд/мин)
- 2 фаза до 30 мин – (восстановление жестких констант)

1. Скорость восстановления – максимальная

2. Задача срочного восстановления:

- Восстановление энергии в форме АТФ и КрФ
- Восстановления жестких констант (их нарушение несовместимо с жизнью)
- Восстановление оперативной работоспособности
 - ЦНС
 - мышц

Особенности срочного восстановления

Это быстрая фаза восстановления жестких констант гомеостаза в течение нескольких минут после нагрузки.

Жесткие константы гомеостаза – это такие параметры гомеостаза, небольшое отклонение которых от нормы может быстро привести к нарушению жизнедеятельности организма и смерти.

- кислотность крови (рН) в течение 10-15 минут восстанавливается 50% от максимального изменения;
- симпато-вагусный баланс автономной нервной системы;
- лактат крови в течение 30 минут восстанавливается 50% от максимального изменения;
- уровень основных ионов (натрия, калия, хлора), осмотическое давление крови;
- уровни газов (O_2 , CO_2) и глюкозы в крови;
- уровень АТФ, КРФ (10 секунд);
- ЧСС (за 1-2 минуты восстанавливается 50% максимального изменения), частота дыхания, терморегуляция)

Замедленное восстановление

Особенности:

1. Длительность от 30 мин до 3 суток
2. Полное восстановление всех нарушений до исходного уровня
 - Восстановление до исходного уровня оставшаяся часть изменений жестких констант,
 - Восстановление нежестких константы гомеостаза – пластические константы гомеостаза до исходного уровня. *Пластические константы гомеостаза позволяют функционировать организму длительное время даже при их существенном отклонении от нормы*
 - водно-солевой состав крови и организма
 - углеводные и энергетические запасы в мышцах и в печени (гликогена, триглицеридов);
 - поврежденные клетки и клеточные структуры (мембраны, митохондрии) мышц и крови;
 - белково-липидный состав плазмы (альбумины, глобулины, триглицериды, холестерин, иммуноглобулины);
 - гормональный баланс крови;
 - объем крови, плазмы, содержание эритроцитов;
 - общие запасы воды в тканях (интерстициальное давление);
 - психические функции;

Фаза сверхвосстановления или суперкомпенсации.

Особенности

- Продолжительность - 1 – 7 сутки
- Основная задача – сверхвосстановление, рост свойств выше исходного уровня
- Восстановление израсходованных энергетических ресурсов выше Исх ур.
- Восстановление структурные ресурсы выше исходного уровня.

В основе суперкомпенсации лежит активация генетического аппарата клеток и усиление синтеза нуклеиновых кислот и белков.

Особенности суперкомпенсации:

- эта фаза развивается не на любую нагрузку, а только в ответ на максимальную или околорекордную нагрузку, приводящую к достаточно глубокому истощению функциональных резервов организма спортсмена;
- развитие этой фазы сложно добиться у спортсменов высокой квалификации, так как их функциональные возможности очень велики, и на тренировках сложно обеспечить их истощение и активацию генетического аппарата клеток – основу суперкомпенсации;
- суперкомпенсация носит гетерохронный (разновременный) характер. В первую очередь восстанавливаются выше исходного уровня энергетические ресурсы, а затем пластические структуры рабочих органов.

Фаза стабилизации

Особенности

Продолжительность – 2-14 сутки

Задача удаление эффектов свехвосстановления

Разные системы в разное время приходят к стабилизации уровня

Механизмы:

Сдвиг анаболического катаболического равновесия в сторону преобладания катаболизма.

Устойчивость систем к отсутствию нагрузок

- Выносливость
- Сила
- Быстрота
- Ловкость

Особенности восстановления у спортсменов

1. Утомление специфично нагрузке, наиболее нагруженные системы восстанавливаются дольше
2. Утомление способно накапливаться, так что восстановление будет удлиняться за счет накопления утомления.
3. Восстановление – это гетерохронный процесс, восстановление различных систем и структур завершается в разные временные отрезки, что позволяет нагружать системы быстрого восстановления более часто, а системы замедленного восстановления – менее часто.
4. Восстановление не является строгой временной константой им можно управлять с помощью различных внутренировочных средств: активным отдыхом, физиопроцедурами, фармакологическими средствами, пищевыми манипуляциями, психологическими процедурами.
5. Квалифицированные спортсмены отличаются ускоренным протеканием процессов восстановления и более ранней фазой сверхвосстановления.

Перетренировка

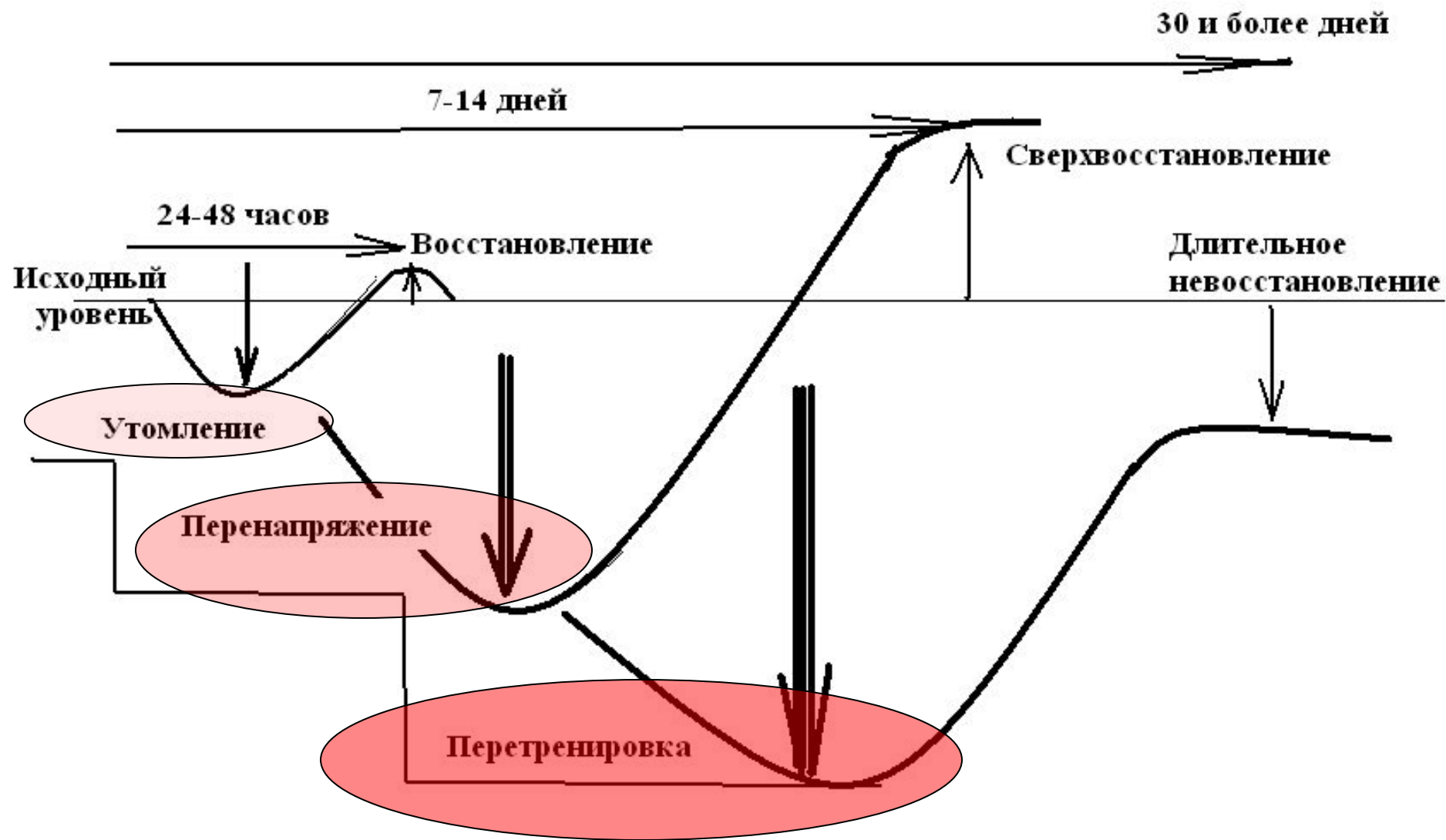
- УТОМЛЕНИЕ

- ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ

» ПЕРЕТРЕНИРОВКА



Общая схема развития перетренировки



Перенапряжение (overreaching) - это временное снижение физической и функциональной подготовленности в результате накопления тренировочных и нетренировочных стрессов, при котором могут (не всегда) проявляться физиологические и психологические симптомы перетренировки, восстановление которых **затягивается от нескольких дней до нескольких недель**

виды перенапряжения:

1. кратковременное или функциональное перенапряжение
1. стойкое или нефункциональное перенапряжение.

1. **Кратковременное (функциональное) перенапряжение** (functional or short-term overreaching) – это перенапряжение, когда симптомы перетренировки, возникают после кратковременного периода напряженных физических нагрузок (от нескольких до серий в течение 1-2 недель) и **восстановление длится от нескольких дней до недели**, ведущее к приросту функционального состояния

2. Стойкое **нефункциональное перенапряжение** (non-functional or extreme overreaching) – это перенапряжение, которое возникает после нескольких серий высоких физических нагрузок, восстановление затягивается **до 2 недель и, как правило, не ведет к сверхвосстановлению функциональных показателей**

Перетренировка (overreaching) - это
долговременное снижение физической
подготовленности в результате
накопления тренировочных и
внетренировочных стрессов,
восстановление которой длится более
месяца, длительное время сохраняется
сниженное функциональное состояние (не
вызывает фазы сверхвосстановления).
Это – конечная стадия процесса
перетренировки

Стадии процесса в развитии перетренировки

	Утомление	Перенапряжение		Перетренировка
		Кратковременное функциональное	Стойкое нефункциональное	
Восстановление	1-3 дня	До 7 дней	до 2 недель	1-12 месяцев
Работоспособность	Снижение	Снижение	Выраженное снижение	Выраженное снижение
Исход после отдыха	Восстановление + Сверхвосстановление	Выраженное Сверхвосстановление	Восстановление	Стойкое снижение

Причины перетренировки

Несоответствие между высокой физической нагрузкой и недостаточным периодом восстановления, что и вызывает постепенное накопление утомления в различных системах, прямо и косвенно обеспечивающих физическую деятельность

Ускорители перетренировки

1. **Психозэмоциональные стрессы:** интеллектуальные нагрузки, межличностные отношения, эмоциональные переживания.
2. **Физические факторы среды:** тренировка в жарких или холодных с повышенной влажностью температурных режимах; гипоксические условия (тренировка в среднегорье и высокогорье); недостатке солнечного излучения.
3. **Фактор питания:** недостаточный пищевой режим, сниженное потребление жидкости; тренировка при снижении массы тела.
4. **Фактор режима дня:** искусственное снижение сна, перелеты в другие часовые пояса с нарушением цикла сон-бодрствование.
5. **Фактор общего здоровья:** спортивные травмы, хронические инфекции, анемия и железодефицитные состояния, гормональные нарушения, аллергии, гипертония и другие заболевания организма

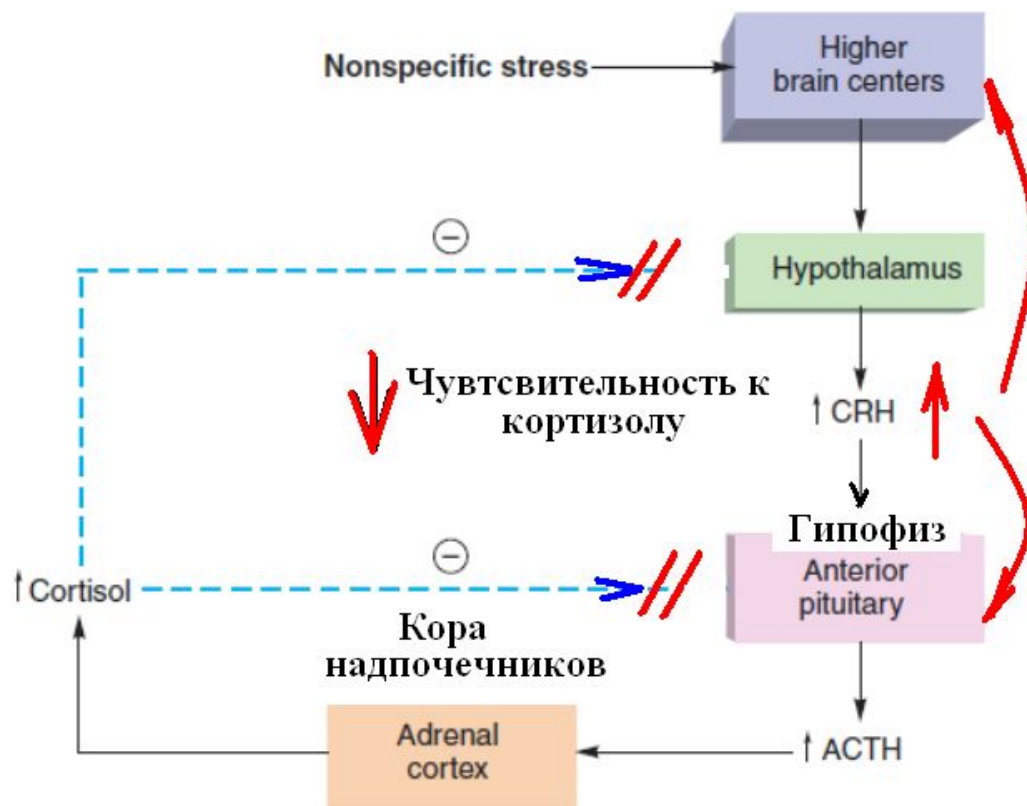
Механизмы перетренировки

- 1. Центральный нейрогормональный механизм**
- 2. Периферический цитокиновый механизм**

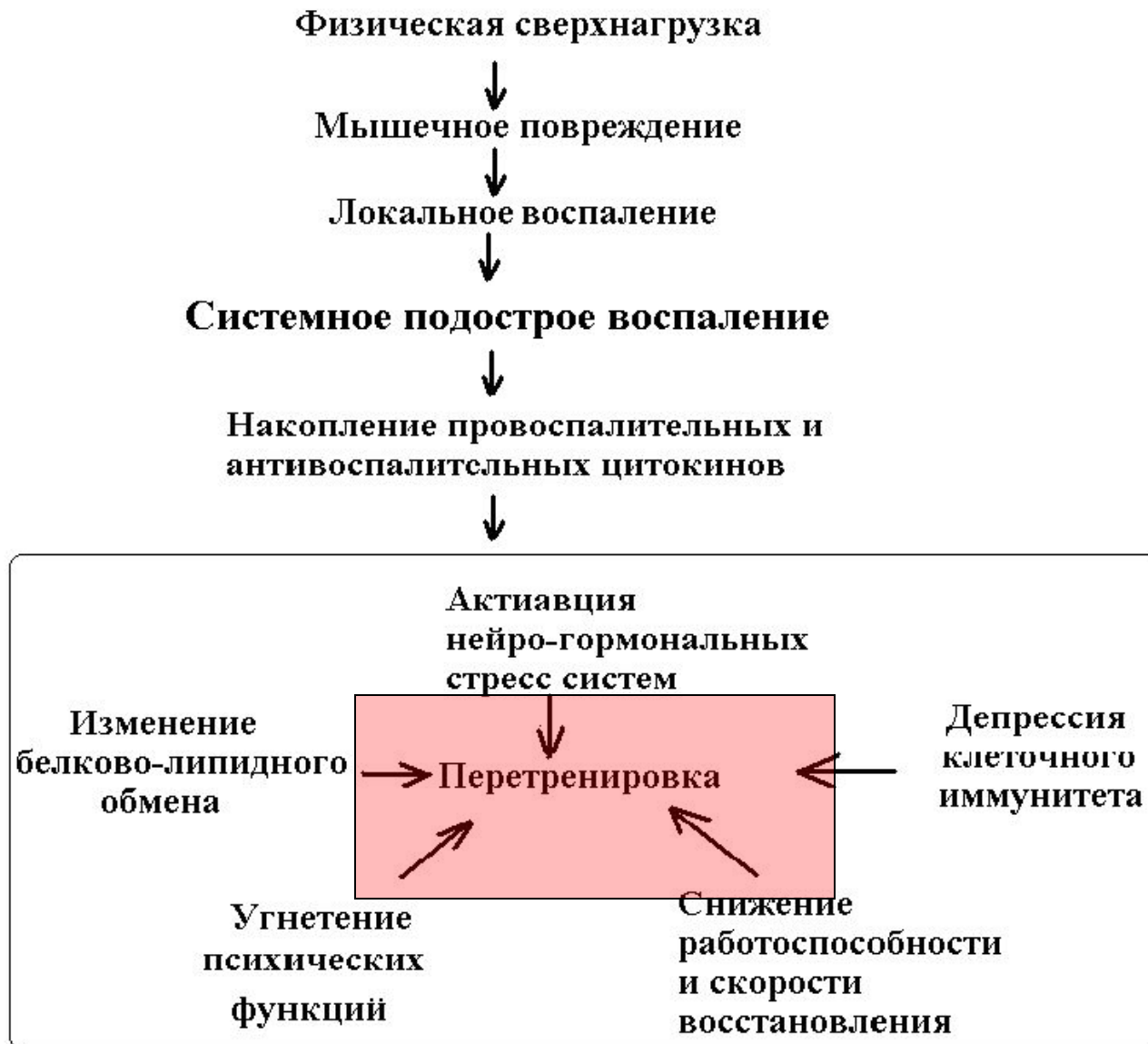
Центральный нейрогормональный механизм

- Суть механизма сводится к снижению чувствительности глюкокортикоидных рецепторов в ЦНС на уровне гипоталамуса (и возможно других отделов), что вызывает неконтролируемое повышенное образование кортикотропин-релизинг гормона гипоталамусом, высокий уровень которого и провоцирует нарушения в работе различных отделах ЦНС

Гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая стресс-система при перетренировки: обратные отрицательные влияния снижены



Периферический цитокиновый механизм



Высокий уровень системной воспалительной активности вызывает следующие реакции и симптомы, характерные для синдрома перетренировки:

1. активация симпато-адреналовой и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой систем;
2. угнетение клеточного иммунитета;
3. обезвоживание организма;
4. снижение анаболических процессов в организме (уменьшение мышечной массы);
5. активацию липолиза (уменьшение жировой массы);
6. снижение эритропоэза и увеличение лейкопоэза;
7. депрессию;
8. сонливость.

Симптомы перетренировки

- В настоящее время не существует специфических и чувствительных маркеров и симптомов для диагностики перетренировки.
- Все симптомы можно классифицировать по следующим группам:
 - функциональные,
 - физиологические,
 - биохимические,
 - иммунологические,
 - психические.

Функциональные симптомы

- 1. Снижение общей работоспособности**
- 2. Снижение максимальной произвольной силы и мощности мышечных сокращений**
- 3. Локальное утомление в рабочих мышцах. При синдроме перетренировки спортсмены часто испытывают локальное мышечное утомление при выполнении физических нагрузок и в состоянии покоя «чувство тяжести в ногах».**
- 4. Снижение скорости двигательной реакции**
- 5. Снижение времени работы до отказа при интенсивности выше ПАНО.**

Физиологические симптомы

- 1. Снижение максимальной ЧСС при максимальной нагрузке.**
- 2. Снижение субмаксимальной ЧСС при неопределяемой нагрузке.**
- 3. Снижение вариабельности сердечного ритма в покое.**
- 4. Снижение ортостатической устойчивости. Повышенная реакция ЧСС и сниженная реакция симпатических индексов ВСР на ортостаз**
- 5. Дегидратация организма и снижение объема плазмы крови.**
- 6. Истощение мышечного гликогена.**

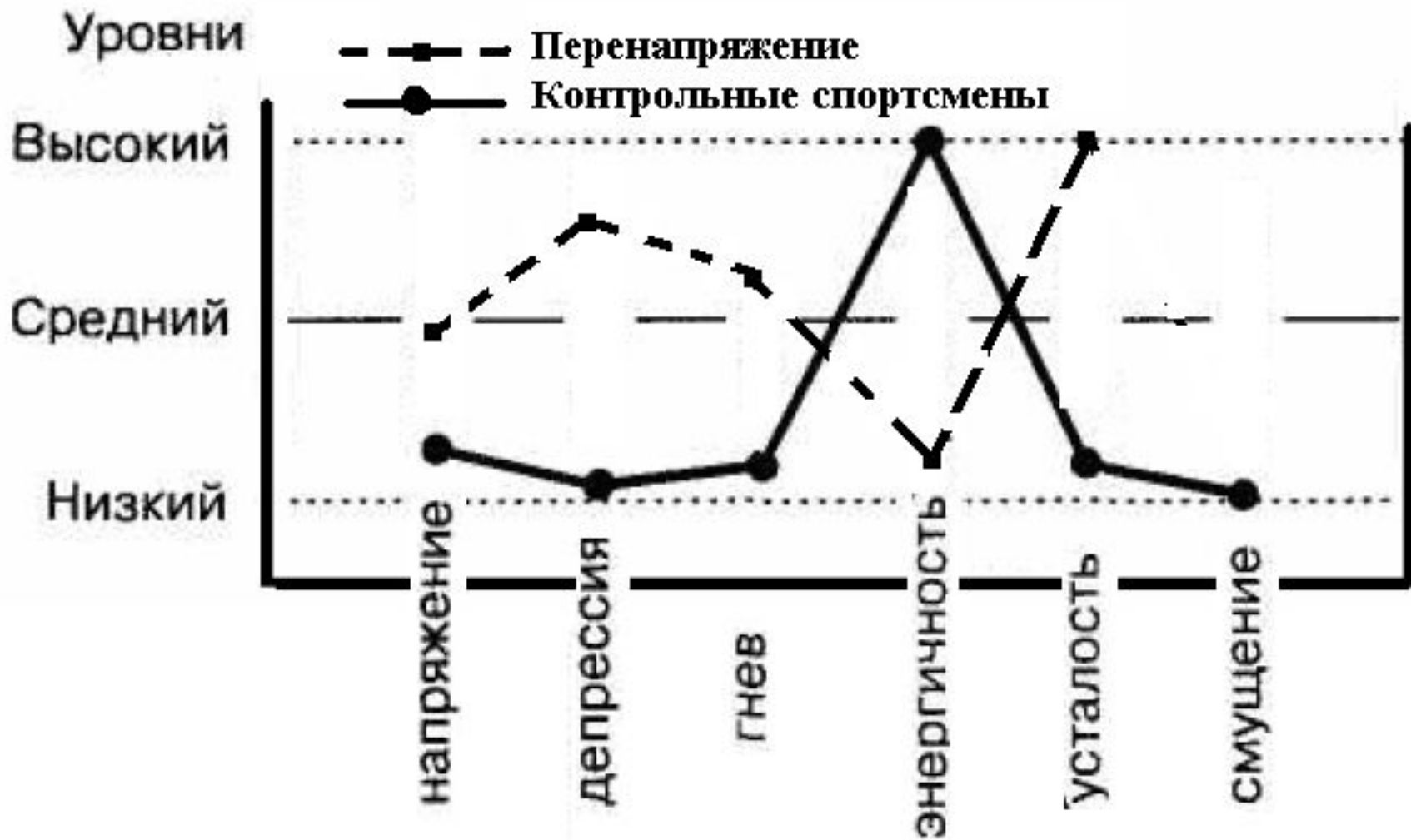
Биохимические симптомы

1. Низкий уровень лактата при максимальной нагрузке
2. Повышенный уровень креатинфосфокиназы, мочевины, ионов калия в крови.
3. Сниженный уровень глютаминовой кислоты.
4. Повышенный уровень гематокрита крови.
5. Диспротеинемия – увеличение доли крупномолекулярных белков и снижение доли альбумина.
6. Дислиппротеинемия - - снижение липопротеидов высокой плотности и увеличение триглицеридов и липопротеидов низкой плотности.
7. Снижение текучести крови и текучести эритроцитов (повышение агрегации эритроцитов).
8. Снижение отношения тестостерон/кортизол.
9. Снижение инсулиноподобного фактора роста и белков, связывающих ИФР-1.
10. Снижение количества норадреналина в утренней моче.

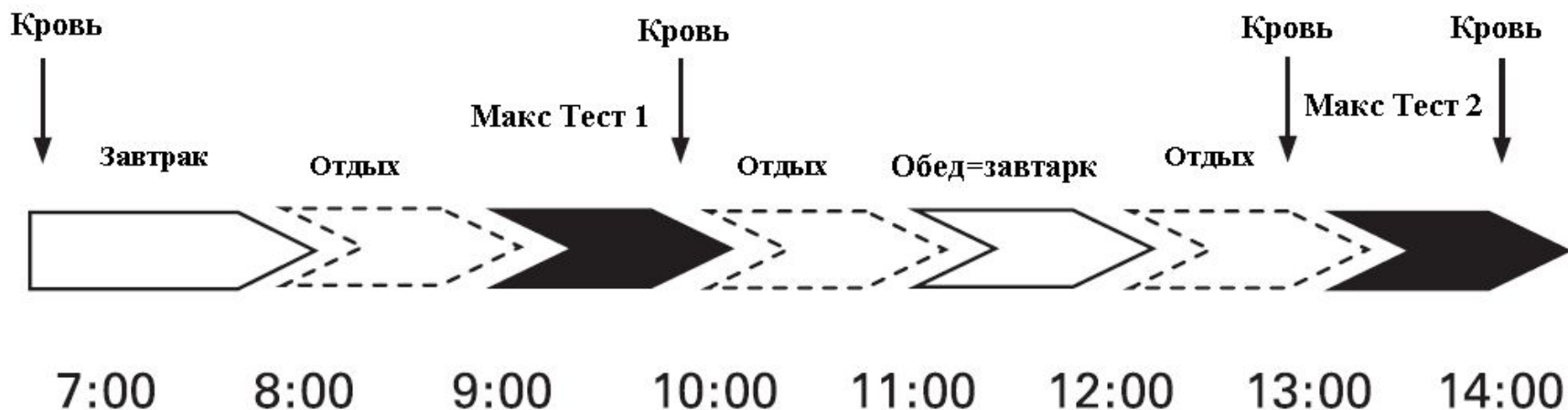
Иммунологические симптомы перетренировки

- **Угнетение клеточного иммунитета.**
- **Активация гуморального иммунитета при дефиците отдельных классов иммуноглобулинов плазмы.**
- **Дефицит иммуноглобулина «А» слизистых оболочек рото- и носоглотки.**

Психологические симптомы



Протокол 2-х нагрузочного максимального теста для диагностики перетренировки (Meeusen E. et al., 2010).



Предложены следующие физиологические критерии для выявления синдрома перенапряжения/перетренировки

1. Длительное снижение физической работоспособности
2. Длительное состояние физической усталости
3. Снижение максимальной ЧСС >5 уд/мин
4. Максимальный уровень лактата в плазме < 8 ммол/л
5. Кортизол в покое утром натощак ≥ 175 мкг/л
6. АКТГ в покое > 40 нг/л
7. Пролактин в покое > 50 МЕ/л
8. **Реакция (увеличение) кортизола на 2-ю максимальную физическую нагрузку $< 200\%$**
9. **Реакция (увеличение) АКТГ на 2-ю максимальную физическую нагрузку $< 200\%$**
10. **Реакция (увеличение) пролактина на 2-ю максимальную физическую нагрузку $< 200\%$**
11. **Реакция (увеличение) гормона роста на 2-ю максимальную физическую нагрузку $< 1000\%$.**

Спасибо за внимание

