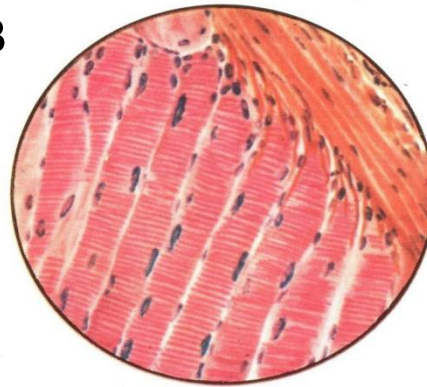


# Физиология мышц

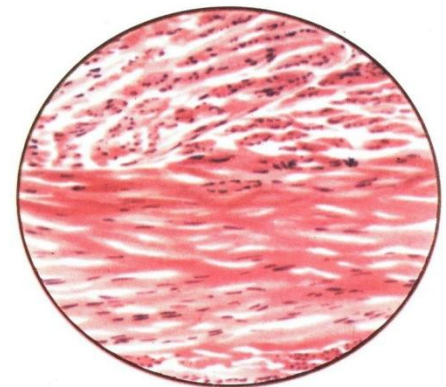


# Функции мышц

- Передвижение в пространстве (локомоции)
- Взаимоперемещение частей тела
- Поддержание позы (сидя, стоя)
- Выработка тепла (терморегуляция)
- Висцеральные функции: передвижение крови, лимфы; вдох и выдох; передвижение пищи
- Рецепторная (мышечные веретена)
- Депонирование воды и солей
- Защита внутренних органов



Скелетные мышцы



Гладкие мышцы

# Свойства мышечной ткани

## Физические

1. Растяжимость
2. Напряжение
3. Эластичность
4. Пластичность

## Физиологические

1. Возбудимость
2. Проводимость
3. Сократимость
4. Рефрактерность

Возбудимость мышцы ниже чем нерва (порог больше).

ПП = 90 мВ.

КУД = 40 мВ

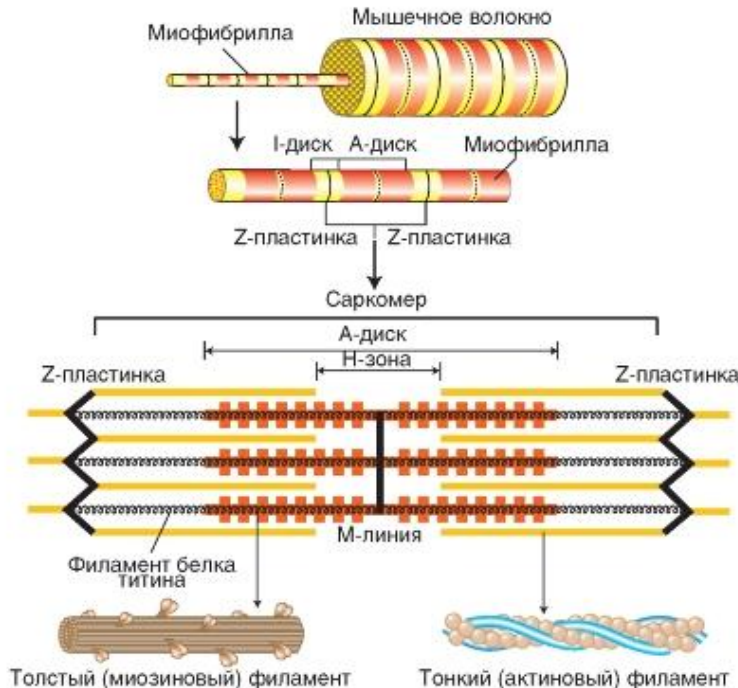
ПД = 120 мВ.

Длительность ПД 1 - 3 мсек.

А



Б



- СКЕЛЕТНЫЕ МЫШЦЫ:
- Основной элемент - **мышечное волокно (МВ)**.
- В эмбриогенезе МВ формируется слиянием **миобластов** в симпласт.
- Диаметр МВ 10 - 100 мкм, длина МВ = 2 - 20 см.

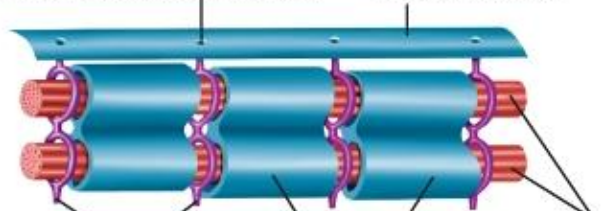
# Особенности

## мышечного волокна

- Огромные размеры
- Многоядерность
- Много рибосом -?
- Много МТХ - ?
- Развита саркоплазматический ретикулум (депо  $\text{Ca}^{2+}$ )
- Системы Т-трубочек – проводят нервный импульс к миофибриллам
- Миофибриллы – 90% содержимого

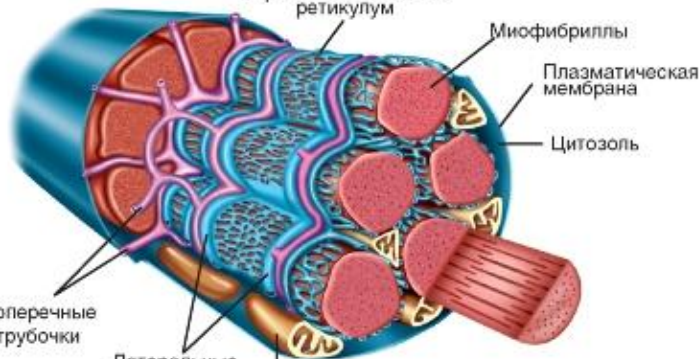
А

Отверстие, соединяющее просвет Т-трубочки с внеклеточной средой  
Плазматическая мембрана мышечного волокна

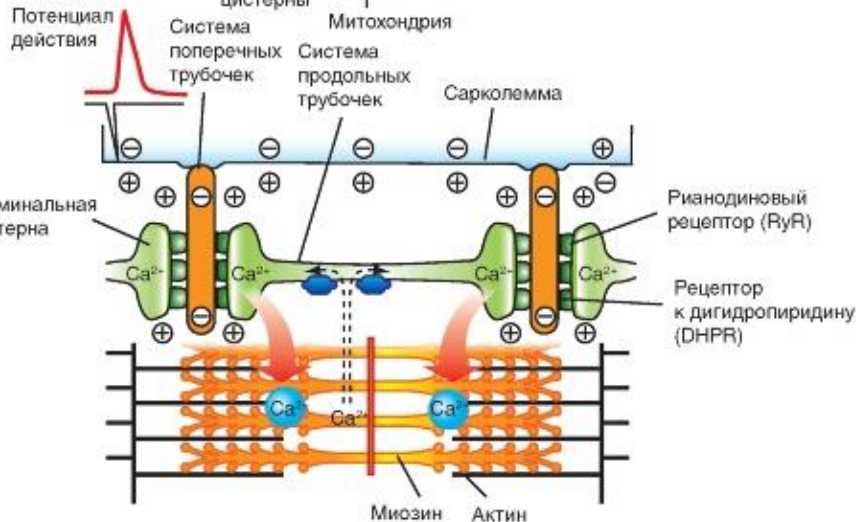


Б

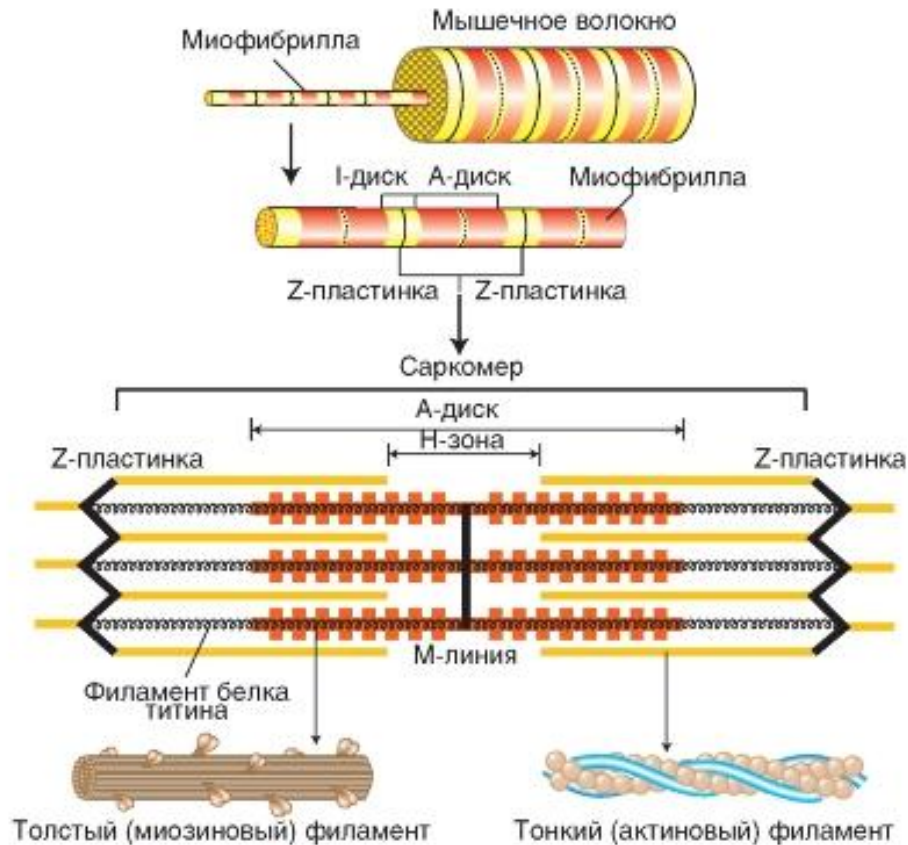
Поперечные трубочки  
Сегменты саркоплазматического ретикулума  
Миофибриллы



В



# Строение миофибриллы



- Сократительные органоиды диаметр 1-2 мкм,
- Состоят из **протофибрилл (филаментов)**
- **Толстые филаменты** состоят из сократительного белка **миозина**.
- **Тонкие филаменты** (их толщина = 1/2) содержат сократительный белок **актин, тропонин и тропомиозин**
- Распределяются регулярно (правильно), периодически чередуются

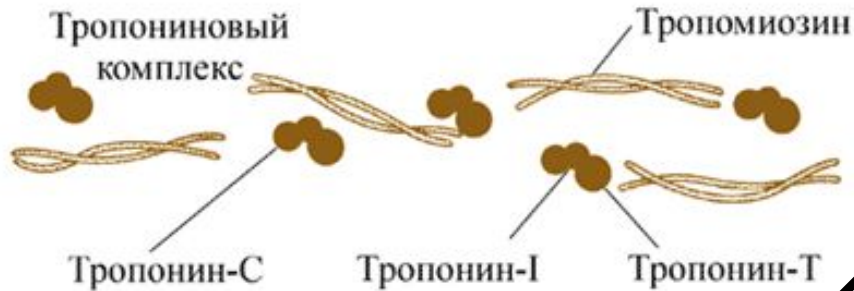
Молекулы G-актина



Молекула F-актина

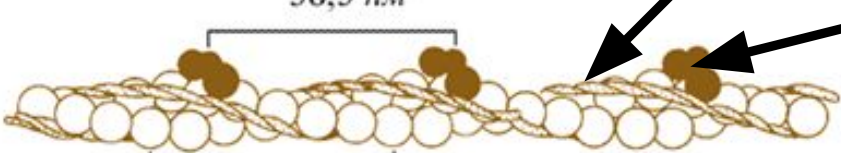


Компоненты тропонин-тропомиозиновой системы



Актиновая нить

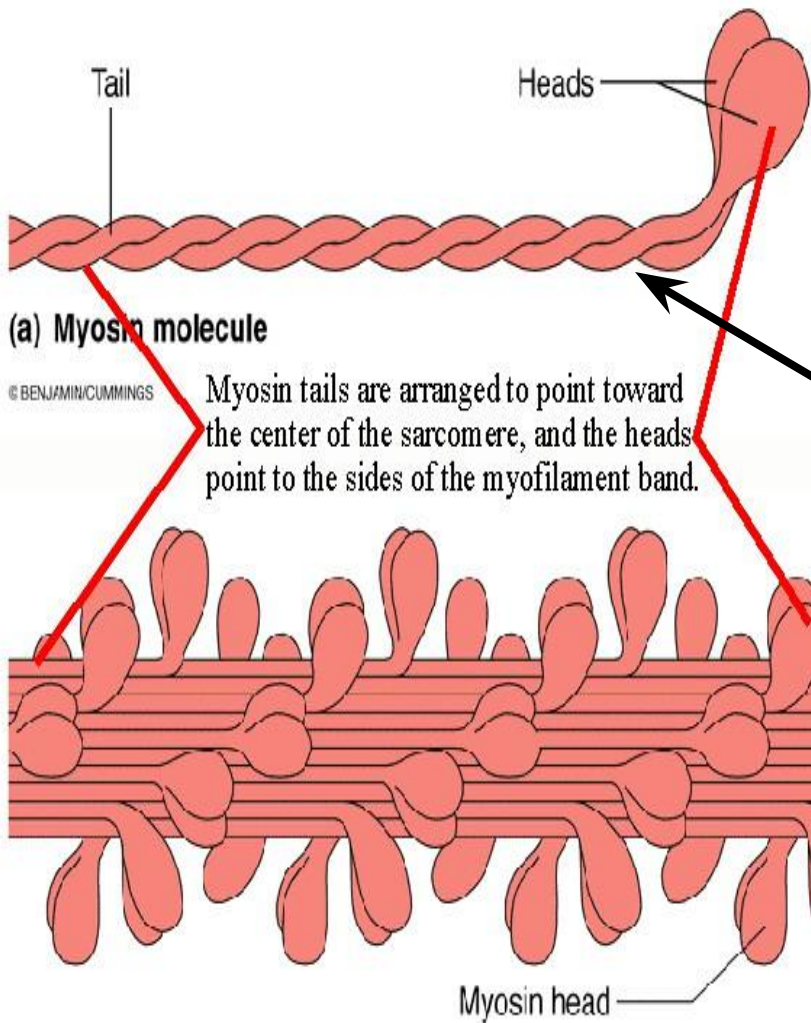
38,5 нм



35,5 нм

- **Актиновая протофибрилла** - двойная нить, закрученная в двойную спираль
- В продольной бороздке актиновой спирали – нити белка **тропомиозина**.
- Через каждые 40 нм к тропомиозину прикреплен белок - **тропонин**.
- Актиновые нити прикрепляются к **Z-пластинке**.

# Миозиновая протофибрилла



(a) Myosin molecule

© BENJAMIN CUMMINGS

Myosin tails are arranged to point toward the center of the sarcomere, and the heads point to the sides of the myofilament band.

(b) Portion of a thick filament

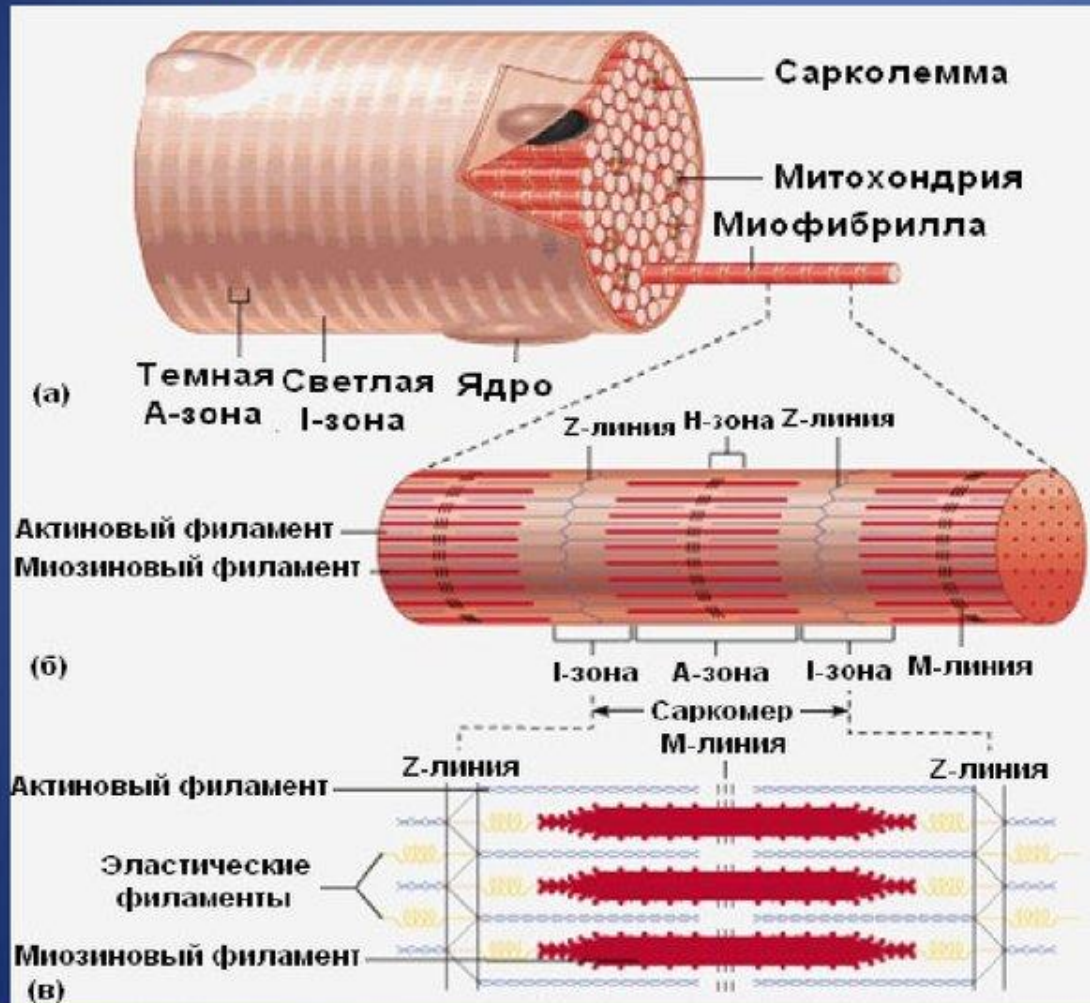
© BENJAMIN CUMMINGS

- 54% массы миофибриллы
- Молекула = хвост, шейка и подвижная головка
- Соединяются по 2.
- Протофибрилла – пучок («букет») молекул миозина
- Располагаются в пространстве между актиновыми (заходят на 1/3)
- Соединены М-пластинками
- Головки миозина могут соединяться с актиновыми



# Функциональная организация скелетных мышц

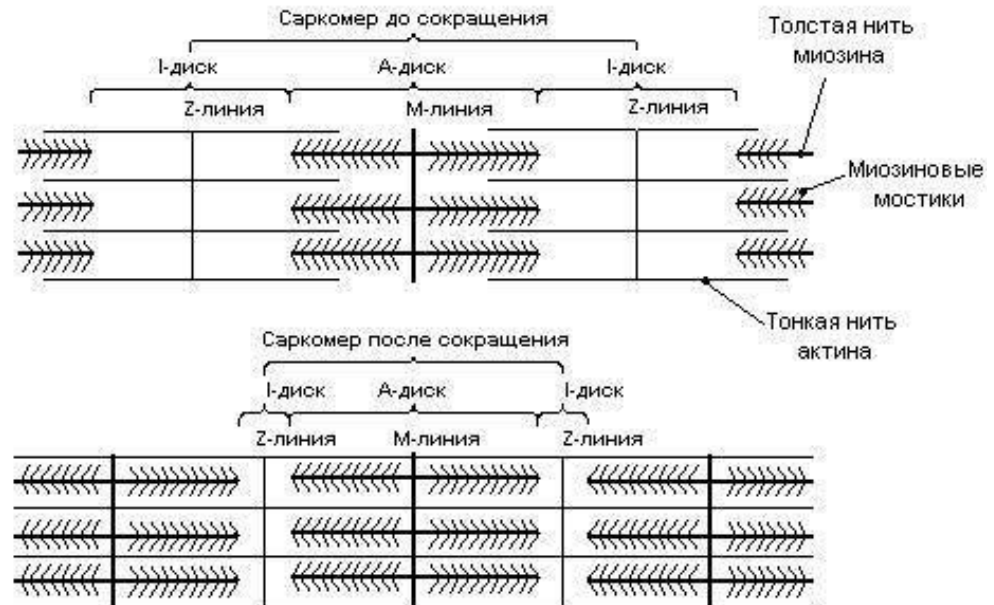
## Строение мышечного волокна и миофибриллы



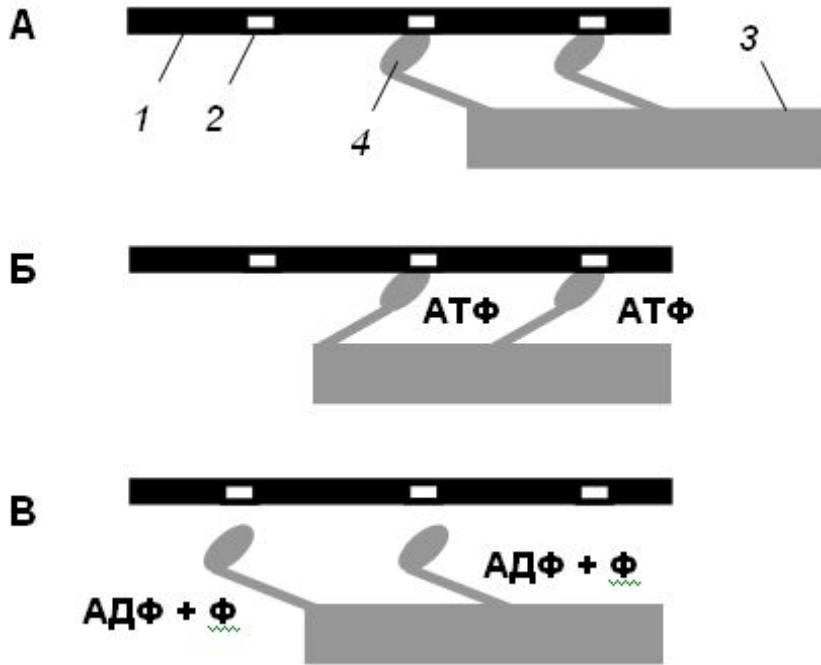
а – мышечное  
волокно,  
б – участок  
миофибриллы,  
в – микрофиламенты

# Саркомер – единица длины мышцы

- Саркомер – расстояние между Z-пластинками
- Длина саркомера = около 2,5 мкм.
- Из-за разной плотности актина и миозина видим чередование полосок темного цвета - **А-диски** из миозина и светлого - **изотропные полоски** — **І-диски**, образованные нитями актина.
- В состоянии покоя нити актина и миозина на 1/3 перекрывают друг друга
- **М-пластинка** - удерживает нити миозина.
- **Z-пластинка** удерживает нити актина
- При сокращении саркомер укорачивается, длина А-диска не меняется

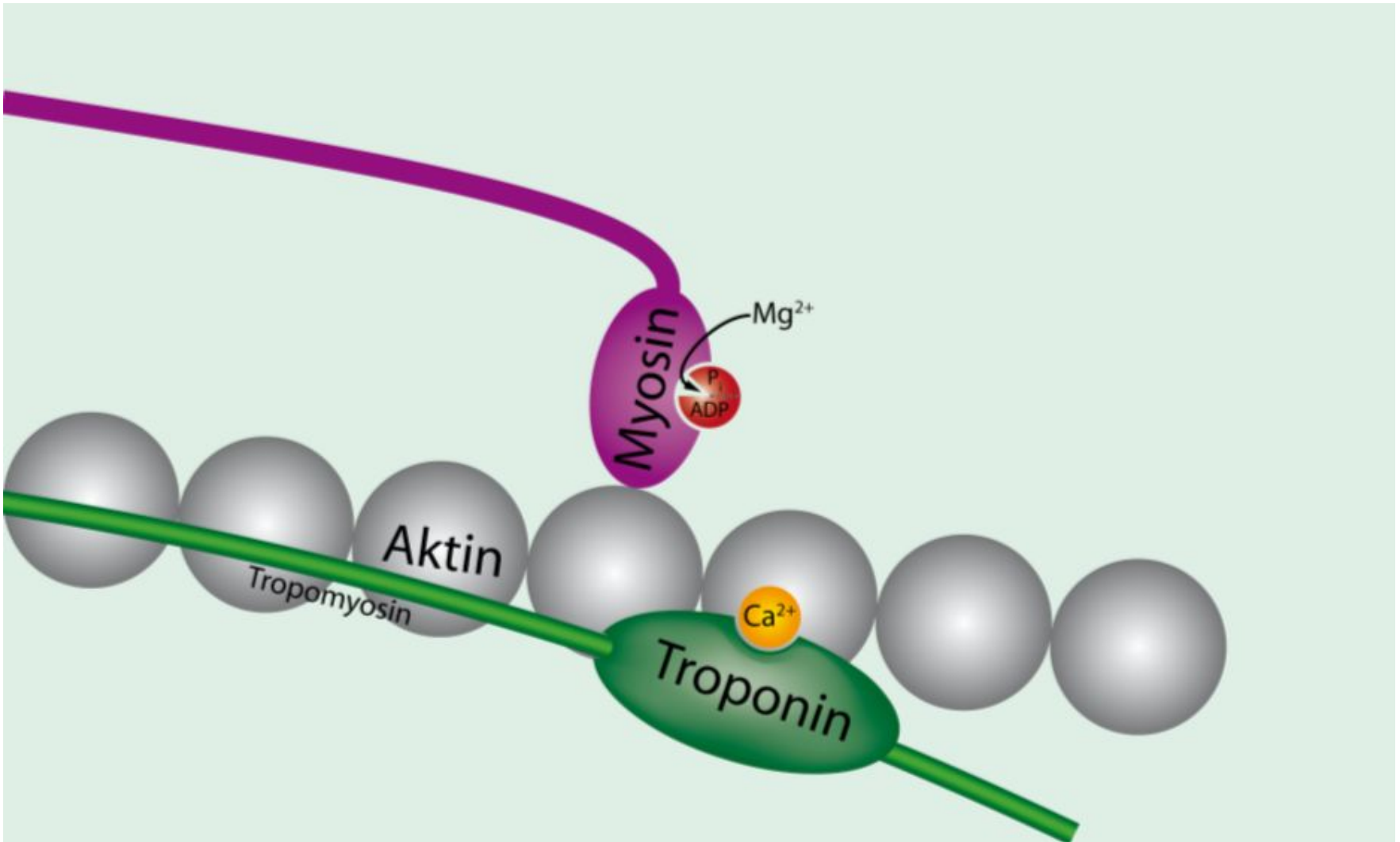


# Механизм мышечного сокращения (теория скользящих нитей Хаксли (1971)).



- 1 – актиновый филамент,
- 2 – центр связывания,
- 3 – миозиновый филамент,
- 4 – головка миозина,

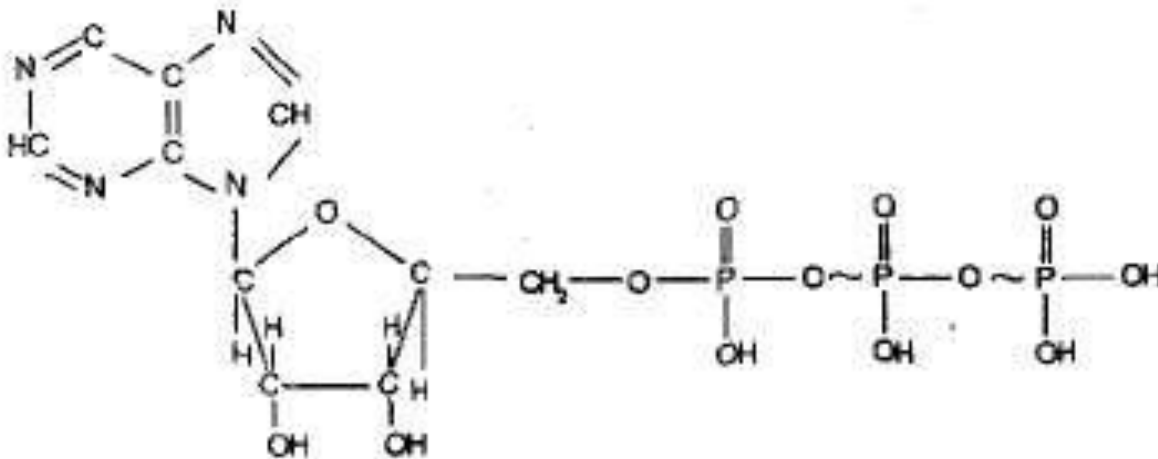
- Поступление нервного импульса на мышечное волокно  $\Rightarrow$  возникает ВПСП,
- ПД распространяется по мембране, по системе Т- трубочек достигает саркоплазматического ретикулума.
- В саркоплазму выходят ионы  $\text{Ca}^{++}$
- $\text{Ca}^{++}$  связываются с тропомиозином, освобождая активные центры актина
- К центрам присоединяются головки миозина (на верхушке – АТФ)
- Взаимодействие миозиновой головки с актином, вращение головки («гребок»)
- Рассоединение актина и миозина и восстановление конформации головки происходит с затратой энергии молекулы АТФ
- Цикл «гребков» повторяется (50 гребков)  $\Rightarrow$  нити миозина задвигаются между актиновыми  $\Rightarrow$  саркомер укорачивается (на 50%)
- **! условие – наличие  $\text{Ca}^{++}$  и АТФ**



Энергетическое обеспечение =  
ресинтез АТФ в мышцах

# АТФ

- **Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ)** является **универсальным аккумулятором и переносчиком энергии в клетке.**
- представляет собой нуклеотид: **аденин + рибоза + 3 остатка фосфорной кислоты.**
- Фосфатные группы соединены между собой последовательно (**макроэргическими**) связями (в формуле обозначены символом ~)
- АТФ был открыт в 1929 году Карлом Ломанном, а в 1941 доказано, что АТФ является основным переносчиком энергии в клетке



# Гидролиз АТФ

- Гидролиз макроэргических связей молекулы АТФ, сопровождается отщеплением 1, реже 2-х остатков фосфорной кислоты, приводит к выделению **40 кДж (8-10 ккал)**



***Обратный процесс - восстановление –  
ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ***

- В организме АТФ синтезируется из АДФ, используя энергию окисляющихся веществ  
$$\text{АДФ} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{энергия} \rightarrow \text{АТФ} + \text{H}_2\text{O}.$$

В мышце для ресинтеза АТФ используются

**1) углеводы**

**2) жиры**

**3) белки**

- У человека продолжительность жизни одной молекулы АТФ менее 1 мин.
- 1 молекула АТФ проходит 2000-3000 циклов ресинтеза в сутки (около 40 кг АТФ в день)
- Запаса АТФ в мышцах ЕСТЬ, НО хватает на 2-3 сек интенсивной работы.



# Энергетический запас мышц

- Запас АТФ (на первые 2-3 сек работы)
- Креатинфосфат [КФ] (на 15-20 сек работы)
- Запас гликогена
- Ферменты, обеспечивающие расщепление, окисление и восстановление

# СПОСОБЫ (ПУТИ) РЕСИНТЕЗА АТФ:

1. **АЭРОБНЫЙ** – ПРЕОБЛАДАЕТ В ПОКОЕ И ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МАЛОИНТЕНСИВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК.  
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ: УГЛЕВОДЫ, ЖИРЫ.
2. **АНАЭРОБНЫЙ** – ПРЕОБЛАДАЕТ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИНТЕНСИВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК.  
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ: КРЕАТИНФОСФАТ, УГЛЕВОДЫ.

# 3 энергетические системы

1. Фосфагенная (алактатная **анаэробная**)



2. Гликолитическая (лактацидная **анаэробная**) Основной путь – гликолиз.

3. Окислительная (**аэробная**). Требуется одновременной доставки и использования клетками  $\text{O}_2$

# Характеристики систем

- Мощность – максимальное кол-во энергии, которую можно затратить на работу в минуту
- Емкость – общее кол-во работы, которое можно выполнить
- Эффективность – кол-во работы на единицу энергозатрат

# Фосфагенная система

- Самая быстрая: КФ сразу отдает Ф на ресинтез
- Максимальная мощность 3770 кДж\кг мин
- Обеспечивает усилия взрывного характера, рывки, метание, старт
- Наибольшая мощность на 2-3 сек, продолжительность 5-6 сек
- Емкость мала (ограничение запаса КФ) – на 10-12 сек, но используется только 30% его



# Мощность анаэробного механизма (скоростно-силовые возможности)

1. максимальная мощность достигается к 3-5 сек
2. максимальное количество энергии (до 120 ккал/ч) обеспечивается за счет фосфагенной системы (АТФ+КрФ), при минимальном участии лактацидной системы.

Алактатная мощность – значимый фактор в достижении высоких результатов в беге на короткие дистанции (18%), в плавании (9%), баскетболе (7%).

Емкость и эффективность не оценивается, т.к. запасы АТФ и КрФ у всех спортсменов примерно одинаковы.

**Гликолиз** – последовательность реакций окисления глюкозы в результате которых:

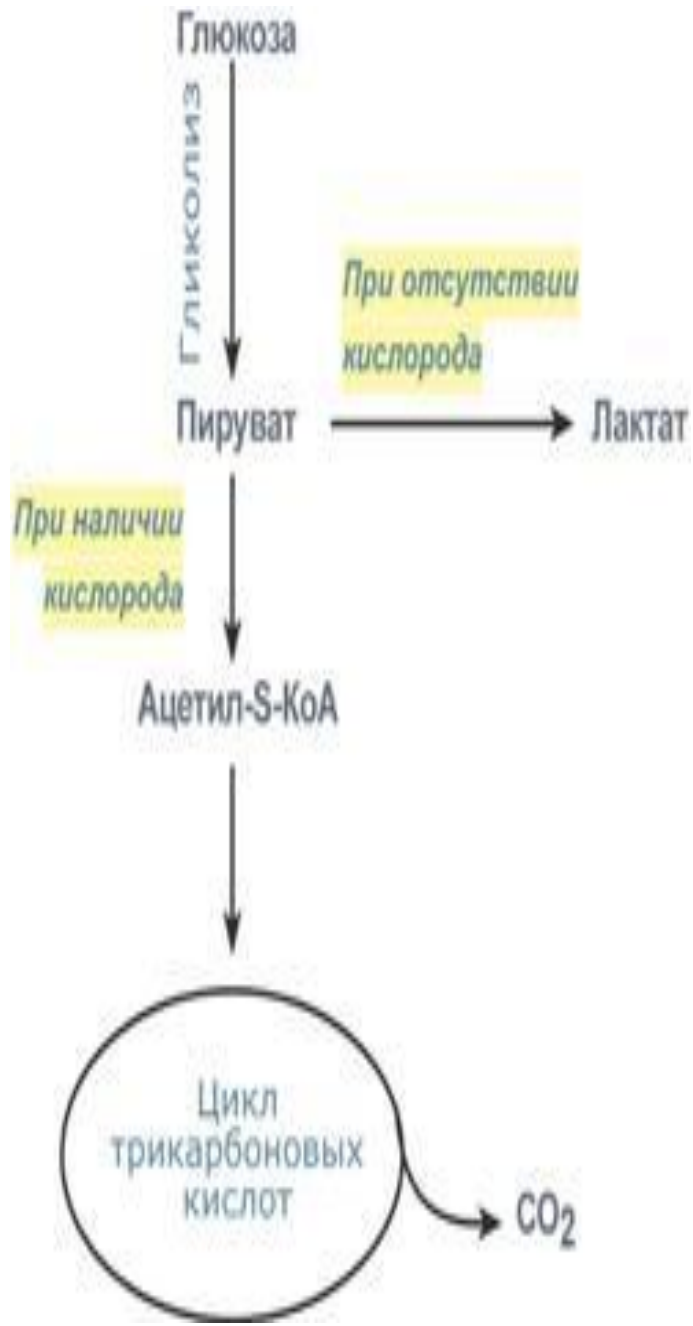
- в анаэробных условиях образуется молочная кислота (лактат);
- в аэробных – пировиноградная кислота (пируват).

**Локализация процесса – цитоплазма.**

**Биологическое значение гликолиза:**

- ❖ **Промежуточные метаболиты** являются предшественниками для синтеза аминокислот, азотистых оснований, липидов и др.
- ❖ Окисление глюкозы сопровождается образованием **АТФ** путем субстратного фосфорилирования.

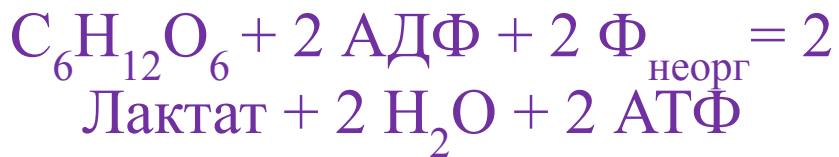




**Аэробный гликолиз** - глюкоза превращается в ацетил-КоА (через пируват) и далее сгорает в реакциях ЦТК до  $\text{CO}_2$ .

**Анаэробный гликолиз** – глюкоза окисляется до молочной кислоты (лактата).

Лактат является метаболическим **тупиком** и далее ни во что не превращается, единственная возможность утилизировать лактат – это окислить его



# Стадии гликолиза

**Подготовительная стадия  
(стадия активации глюкозы):**

- 5 реакций;
- 1 молекула гексозы (глюкозы) расщепляется на 2 молекулы фосфотриоз (глицеральдегидфосфата).

**Стадия генерации АТФ:**

- 6 реакций – в анаэробных условиях, 5 реакций – в аэробных условиях;
- энергия окислительных реакций трансформируется в химическую энергию АТФ (в реакциях субстратного фосфорилирования)

# Характеристики лактатной системы

- Начинает работать сразу, но достигает максимума на 15-20 сек
- Макс мощность держится 2-3 минуты
- Мощность до 2500 кДж
- Энергетический субстрат – глюкоза, гликоген
- Образуется молочная кислота, выходит в кровь
- Макс продолжительность = 4 минуты

# Действие МК в крови и мышцах

- Может до определенного уровня связываться буферными системами крови
- При накоплении
  - угнетает ферменты => утомление (лимитирует длительность работы)
  - Вызывает болезненные ощущения

# ГЛИКОЛИТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ

- 1. При предельной работе, продолжительностью от 1 до 2 мин количество энергии (до 40 ккал/час) на 60-70% обеспечивается лактацидной , на 30 % аэробной системами.**
- 2. Гликолитическая мощность важна в баскетболе(12%), беге на короткие дистанции(10%), плавании (7%) и в др. видах спорта.**

# ГЛИКОЛИТИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ

**Это продолжительность выполнения упражнения  
Зависит от:**

- 1. запасов гликогена в мышцах и активности гликолитических ферментов.**
- 2. алактатной (КрФ) и аэробной мощности (МПК)**
- 3. Больше накопления  $La$  (ммоль/л) при предельной нагрузки указывает на повышение емкости гликолитического механизма энергообразования.**

**Гликолитическая емкость важна в баскетболе (32%), беге на средние (15%) и короткие дистанции (12%), лыжных гонках (11%), плавании (8%).**

## **В ПОКОЕ:**

РН КРОВИ: 7,36 - 7,40

КОНЦЕНТРАЦИЯ МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ: 1 – 2 ММОЛЬ/Л

## **РАБОТА ПРИ ИНТЕНСИВНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ:**

РН КРОВИ: 7,0 – 7,1 (МАЛОПОДГОТОВЛЕННЫЕ)

6,8 – 6,9 (ХОРОШО ПОДГОТОВЛЕННЫЕ)

КОНЦЕНТРАЦИЯ МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ:

15 ММОЛЬ/Л (МАЛОПОДГОТОВЛЕННЫЕ)

25 – 30 ММОЛЬ/Л (ХОРОШО ПОДГОТОВЛЕННЫЕ)

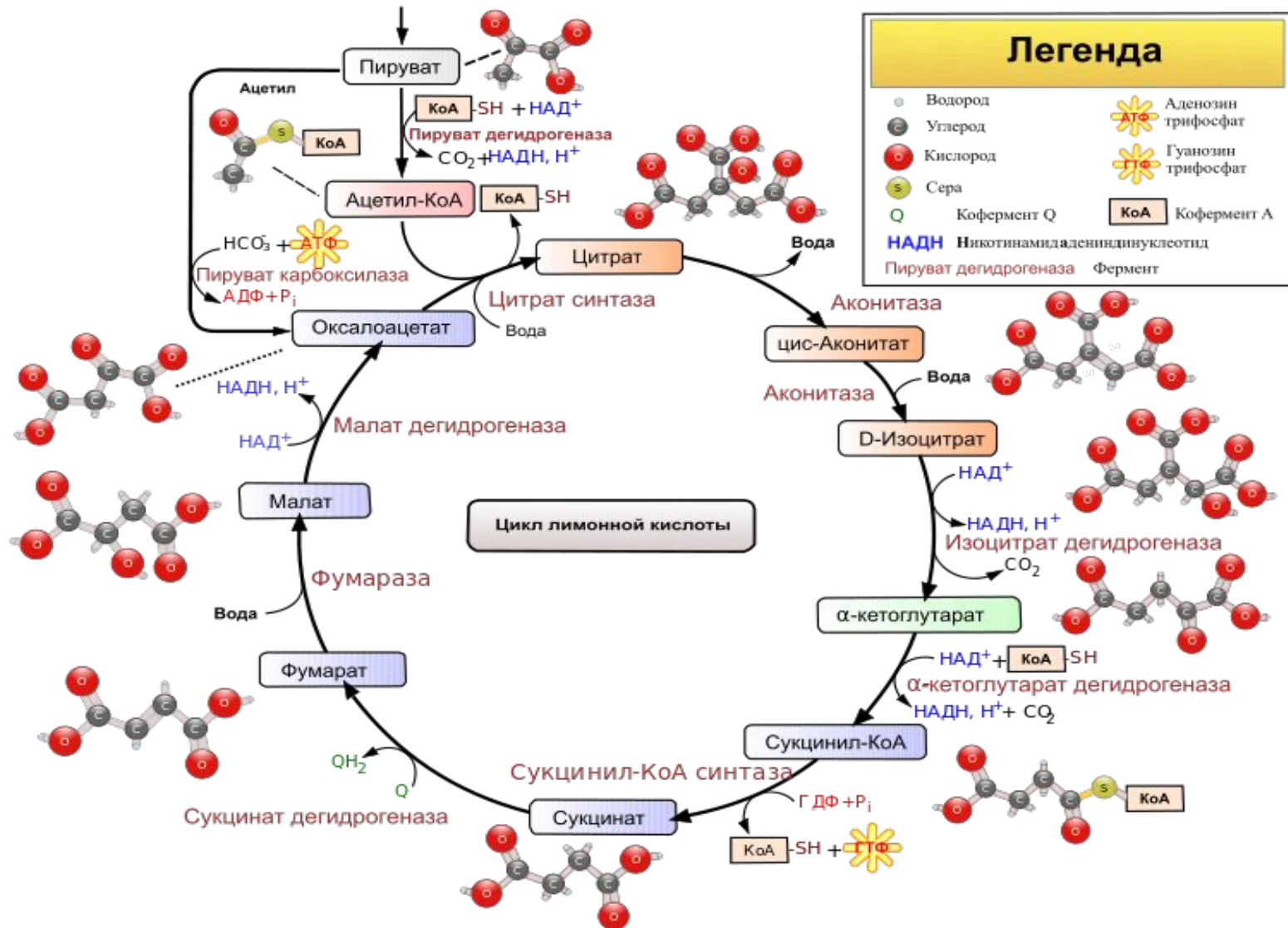
# Аэробная система

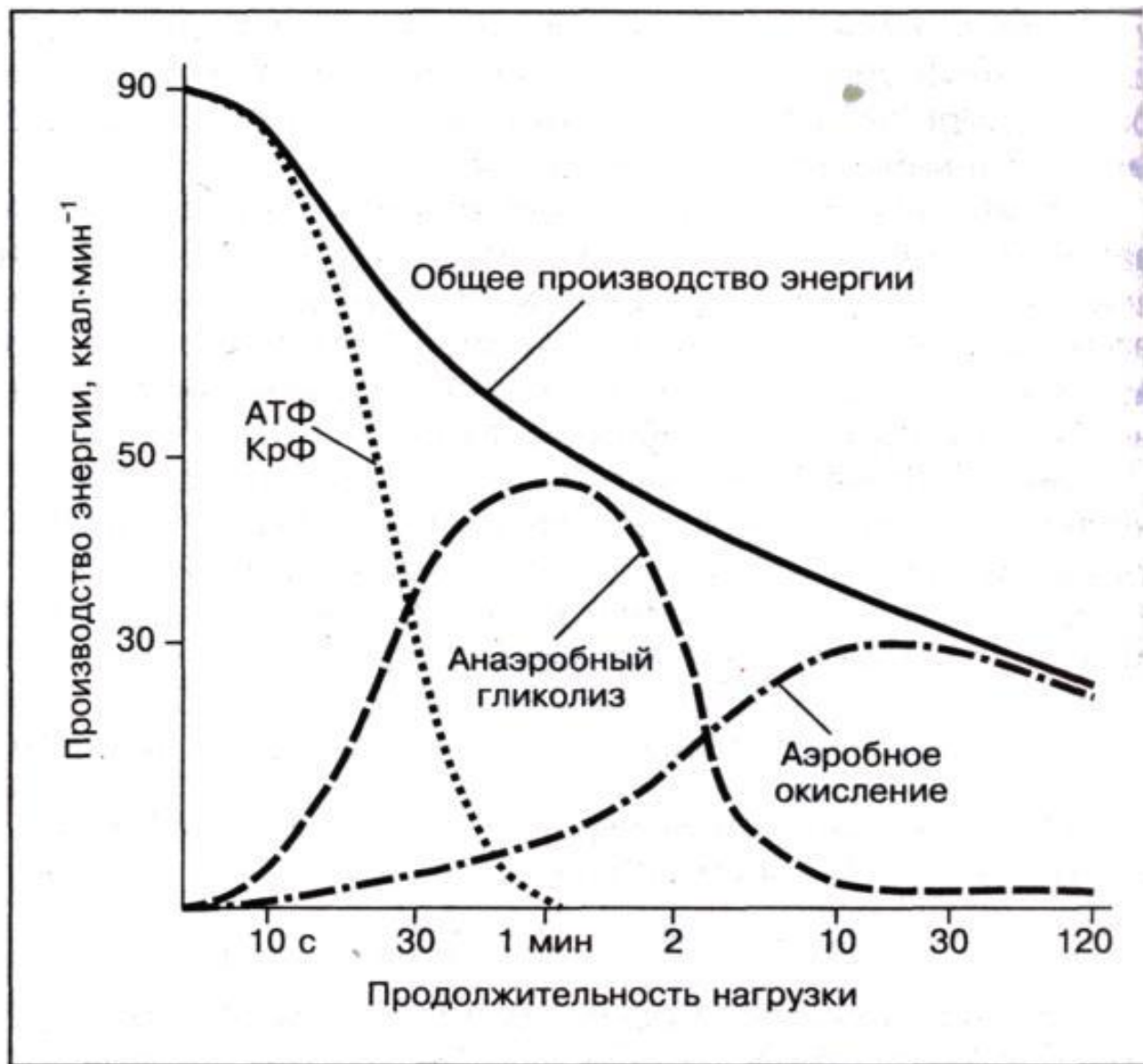
- Включается, когда возникает кислородный запрос
- Требуется участия O<sub>2</sub>-транспортной системы, (включение идет 2 минуты, =>обеспечивает работу длительностью
  - > 5-6 минут (смешанное обеспечение)
  - > 10-12 минут – полностью аэробное
- **Субстрат окисления** – У/В, ЖК, Глицерин, АК. Чем больше мощность, тем больше вклад У/В. Чем меньше мощность и больше продолжительность, тем больше вклад жиров





# Цикл Кребса





**Рис. 130**

Последовательность и вклад механизмов анаэробного и аэробного энергообразования в энергетику различных упражнений

# Характеристики:

- Мощность = 1250 кДж/ мин (в 3 раза < КФ, в 2 раза < гликолитической),
- ПАО - порог аэробного обмена
- ПАНО - порог анаэробного обмена
- МПК - максимальное потребление кислорода

# Пример расчета потенциальных возможностей сердца и мышечной системы у спортсменов

1кг мышечной массы на пределе подготовленности (работают все ОМВ) потребляет 0.2 - 0.3 л/мин кислорода.

1л крови переносит 160мл кислорода ( при нормальном гемоглобине)

**Ударный объем сердца (УО)** при максимальной нагрузке у спортсменов достигает 240 мл за один удар.

**Потенции сердца при ЧСС 190** уд.мин для спортсмена:

$$ПК = 190 \text{ уд.мин} * 240 \text{ мл (УО)} * 160 \text{ мл} = 8 \text{ л/мин}$$

**Потенции мышечной системы ( на пределе подготовленности) :**

$$20 \text{ кг мыш.массы} * 0.3 \text{ мл/мин} = 6 \text{ л/мин}$$

# (МПК)

- **наибольшее количество кислорода, которое способен потребить спортсмен во время нагрузки максимальной мощности.**
- **Важный показатель на дистанции более 3 мин.**
- **Определяет возможности организма получить кислород, его переработать и использовать**
- **Определяет тот потенциал аэробной мощности, который при правильной тренировки может быть реализован**
- **Верхний предел количества энергии, которые могут поставить за единицу времени аэробные процессы.**

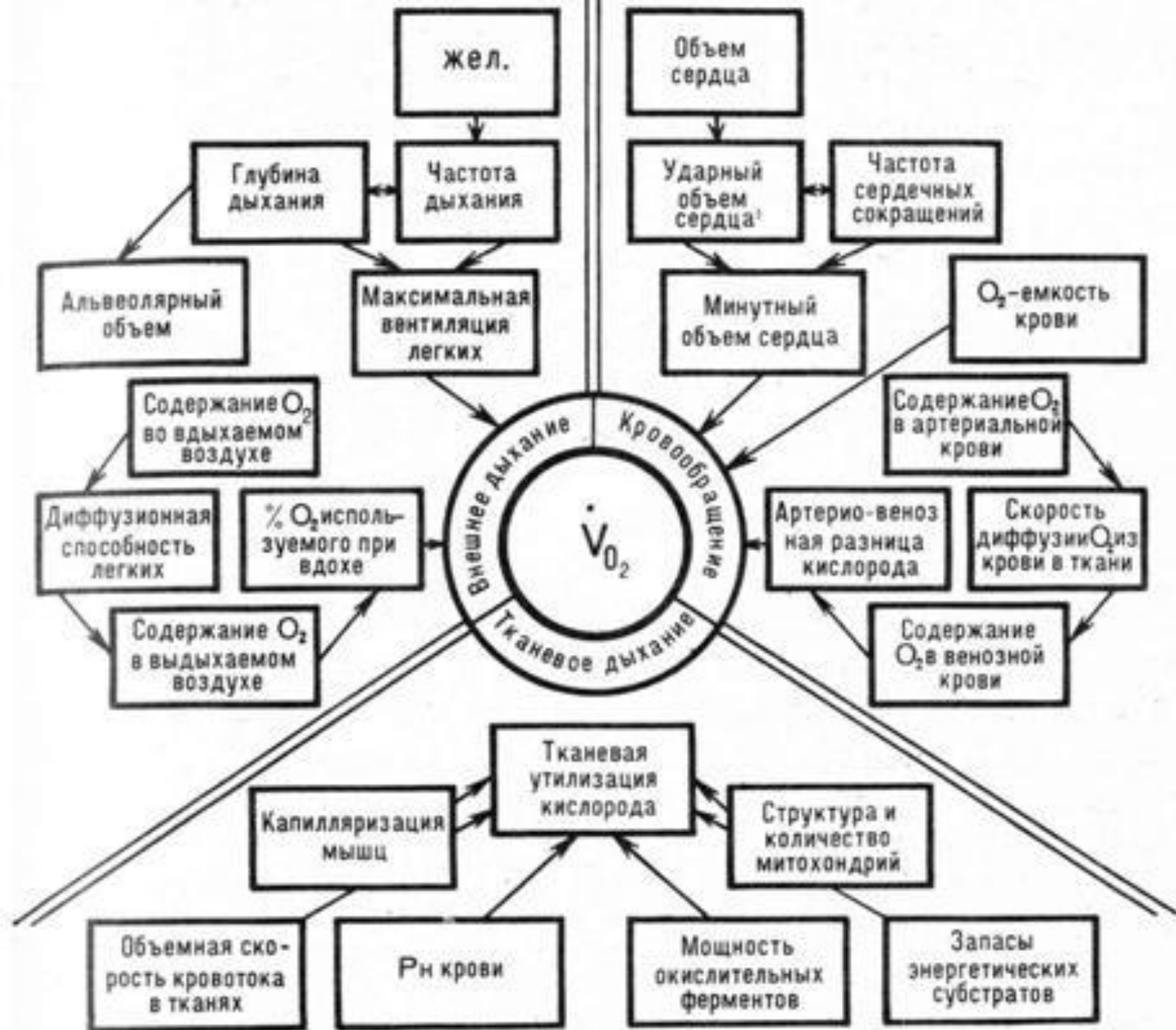
# МПК

- Чем выше МПК, тем выше способность производить энергию аэробным путем, и таким образом, выше скорость которую спортсмен может поддерживать на дистанции, тем, следовательно, выше его спортивный результат в видах спорта, требующих проявление выносливости.
- МПК лыжников сборной страны 78-80 мл/мин/кг









## Показатели МПК для мужчин (мл/мин/кг)

Уровень МПК	Возраст					
	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
Отличный	> 60	> 56	> 51	> 45	> 41	> 37
Хороший	52-60	49-56	43-51	39-45	36-41	33-37
Выше среднего	47-51	43-48	39-42	35-38	32-35	29-32
Средний	42-46	40-42	35-38	32-35	30-31	26-28
Ниже среднего	37-41	35-39	31-34	29-31	26-29	22-25
Низкий	30-36	30-34	26-30	25-28	22-25	20-21
Очень низкий	< 30	< 30	< 26	< 25	< 22	< 20

## Показатели МПК для женщин (мл/мин/кг)

Уровень МПК	Возраст					
	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
Отличный	> 56	> 52	> 45	> 40	> 37	> 32
Хороший	47-56	45-52	38-45	34-40	32-37	28-32
Выше среднего	42-46	39-44	34-37	31-33	28-31	25-27
Средний	38-41	35-38	31-33	28-30	25-27	22-24
Ниже среднего	33-37	31-34	27-30	25-27	22-24	19-22
Низкий	28-32	26-30	22-26	20-24	18-21	17-18
Очень низкий	< 28	< 26	< 22	< 20	< 18	< 17

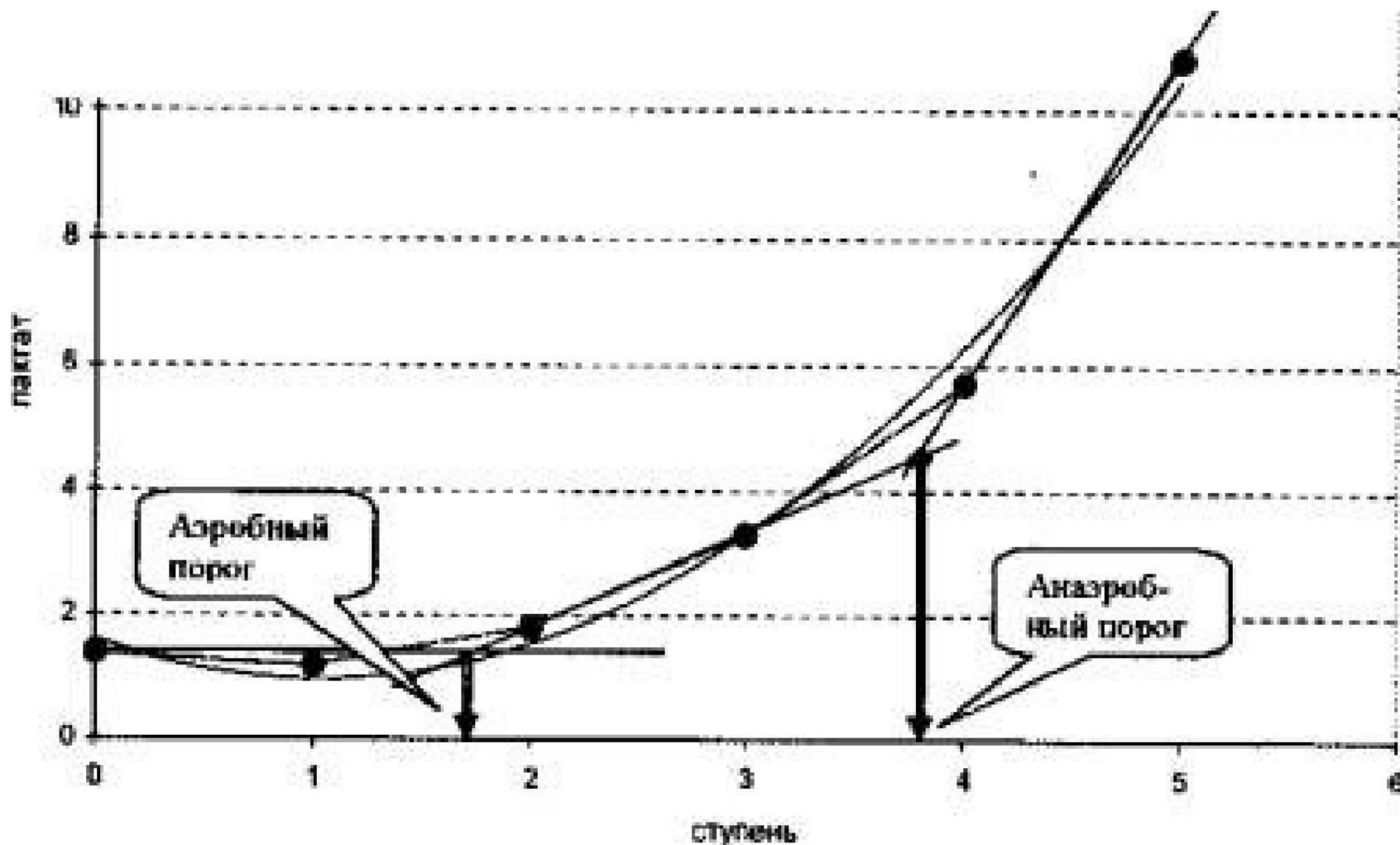
# Порог анаэробного обмена (ПАНО)

- Интенсивность упражнения, выше которой механизмы нейтрализации лактата не успевают за его выработкой.
- - квазиустойчивое состояние между продукцией метаболитов анаэробного гликолиза (лактат, ионы водорода) и их утилизацией работающими мышцами. ЛАКТАТ в крови около 4 ммоль/л. = лактатный порог.
- ПАНО отражает предельную скорость, с которой организм может «сжигать» углеводы, удерживая при этом баланс аэробных и анаэробных процессов
- Соответствует максимальному уровню нагрузок, который спортсмен может поддержать в течение длительного отрезка времени без накопления лактата ( без преждевременной усталости).
- Максимальное стабильное содержание лактата (MLSS) или наивысшая концентрация лактата может поддерживаться в течение 30 минутного тренировочного отрезка. Концентрация MLSS выше там, где меньше активная мышечная масса (конькобежный спорт, велоспорт, лыжный спорт) и равна 4-6 ммоль/л.

# ПАНО

- От уровня ПАНО зависит скорость (темп) прохождения по дистанции соревнований. ПАНО является наиболее важным фактором, определяющим работоспособность на длинных дистанциях, а также на средних и коротких
- Как показатель аэробной производительности отражает активность процессов восстановления и стабильность результатов на соревнованиях.
- **Отличие МПК от ПАНО:** МПК отражает способность сердца транспортировать кислород к мышцам, ПАНО отражает адаптационные изменения в мышцах (способность вырабатывать энергию аэробным путем).
- Потребление кислорода на уровне ПАНО для спортсмена МСМК равно около 75мл/мин/кг.

# Определение аэробного и анаэробного порога при проведении теста со ступенчатым увеличением скорости плавания.



# Оценка характеристики метаболических процессов

- **МОЩНОСТЬ** - максимальное количество энергии ( работа в ккал, мощность в ккал/час) в единицу времени, которое может быть обеспечено каждым из метаболических процессов (аэробный, гликолитический, алактатный).
- **Емкость** – общие запасы энергетических веществ в организме или общее количество выполненной работы за счет данного источника.
- **Эффективность** – какое количество внешней механической работы может быть выполнено на каждую единицу выделяемой энергии.

# Оценки мощности аэробного механизма

- 1. МПК или  $VO_{max}$
- 2. Величина потребления кислорода на уровне ПАНО
- 3. Время наступления ПАНО
- 4. Концентрация гемоглобина

Аэробная мощность - значимый фактор в достижении высоких результатов в плавании (50%), беге (около 40%) и менее значимый в лыжных гонках (27%) и баскетболе (8%).

# ЕМКОСТЬ аэробной системы

- Это длительность работы на уровне ПАНО. Неспорсмены - 5-6 мин., спортсмены - от 30 мин до 1ч.15 мин )
- Аэробная емкость – значимый фактор в достижении высоких результатов в упражнениях не менее 30 мин: лыжные гонки (39%); беге на длинные дистанции(18%), в остальных видах - 7%, кроме спринта (1%).
- Емкость связана с запасами гликогена и жира. При регулярном приеме углеводов по ходу дистанции продолжительность работы многократно возрастает.



# Эффективность

- скорость утилизации кислорода митохондриями ( прямая зависимость от активности и кол-ва ферментов окислительного фосфорилирования, кол-ва митохондрий и доли жиров в энергообеспечении).
- Под влиянием интенсивной тренировки аэробной направленности эффективность аэробного механизма повышается за счет увеличения скорости окисления жиров и их роли в энергообразовании.
- Аэробная эффективность – значимый фактор в достижении высоких результатов в баскетболе (15%), лыжных гонках (12%), плавании (8%) и беге ( 8%) на длинные дистанции .

## Таблица - Классификация физических упражнений в зависимости от вклада энергетических систем в обеспечение мышечной деятельности

Упражнения	Вклад энергетических систем в обеспечение мышечной деятельности	Длительность упражнения	Частота сердечных сокращений
Анаэробные	Вклад фосфагенной и гликолитической систем в энергопродукцию составляет 70 – 80 %	До 1 минуты	$\geq 170$ уд/мин (физкультурники); $\geq 180$ уд/мин (спортсмены)
Аэробно-анаэробные	Вклад гликолитической и окислительной систем в энергопродукцию примерно одинаковый (50% / 50%)	2 – 3 минуты	155 – 165 уд/мин (физкультурники); 165 – 175 уд/мин (спортсмены)
Аэробные	Вклад окислительной системы в энергопродукцию составляет 70 – 99 %	От 4 минут	$\leq 150$ уд/мин (физкультурники); $\leq 160$ уд/мин (спортсмены)

# Определение МПК

- Прямые и непрямые методы
- Абсолютные и относительные показатели
- Оценочные шкалы и таблицы

# **Положительные оздоровительные и тренировочные эффекты от занятий аэробными упражнениями:**

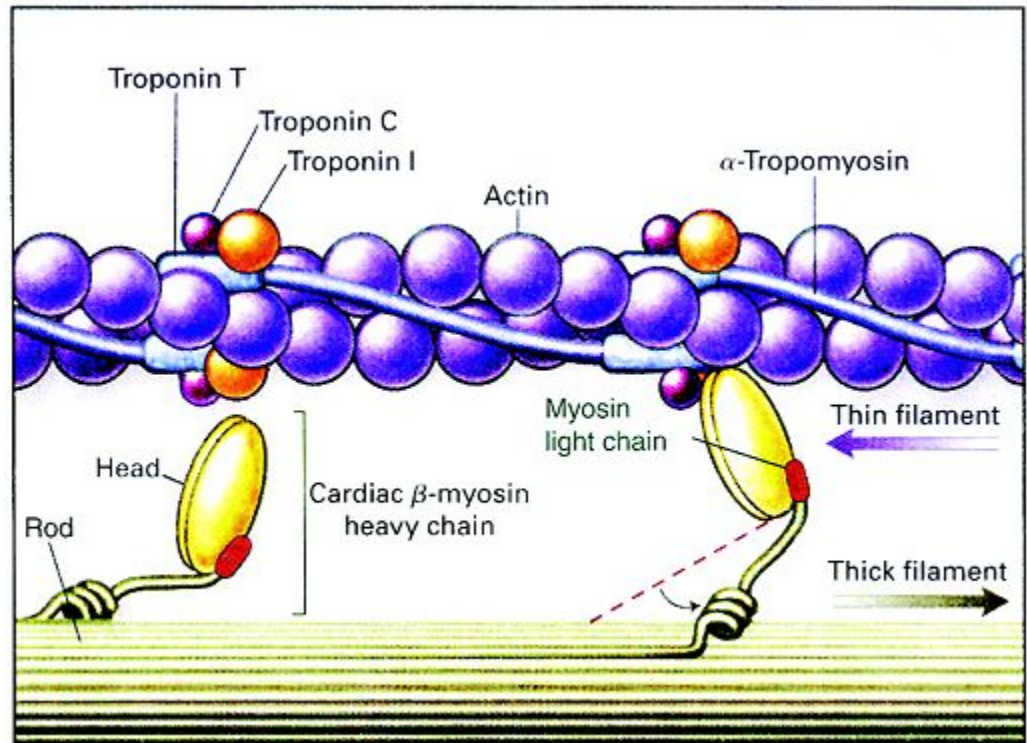
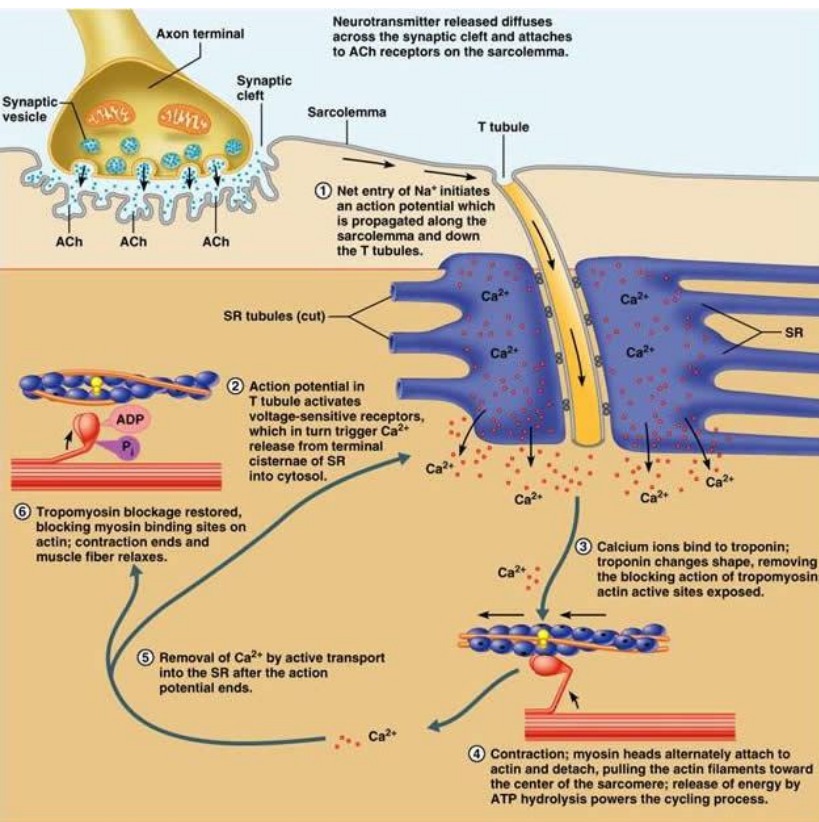
1. Повышение приспособительных возможностей организма и физической работоспособности за счет расширения его резервных возможностей.
2. Увеличение функциональных возможностей эндокринной системы, в первую очередь надпочечников.
3. Укрепление иммунитета за счет усиления синтеза иммунных белков.
4. Активизация органов кроветворения (ОЦК увеличивается на 10 – 35%).
5. Улучшение кровоснабжения сердца за счет образования дополнительных коронарных сосудов (улучшается энергообеспечение сердечной мышцы, снижается риск развития инфаркта миокарда).
6. Улучшение тканевого дыхания за счет усиленной капилляризации скелетной мускулатуры.
7. Нормализация артериального давления и предупреждение атеросклероза сосудов за счет повышения их эластичности, нормализации липидного состава крови (холестерин активно используется на синтез гормонов надпочечников).



**Рисунок 4 – Изменения в функционировании органов и систем организма при недостаточном энергообеспечении мышечной деятельности**

# Причина сокращения – нервный импульс

- Мотонейроны → нервный импульс на мышцу

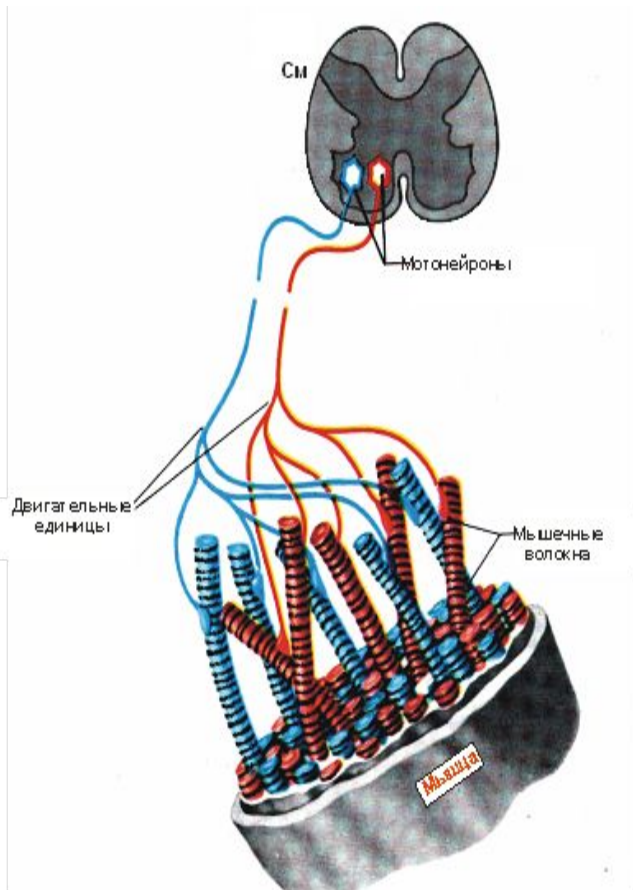


# Причина сокращения – нервный импульс

- Мотонейроны ( в спинном мозге)
- Малые ( более возбудимы, определяют бытовую деятельность; работают с частотой менее 20 Герц, включают красные волокна)
- Большие (менее возбудимы; работают с частотой более 25 Герц, включают белые и промежуточные волокна)

# Двигательная единица (ДЕ) =

Функциональная  
единица мышцы =  
мотонейрон +  
иннервируемые им  
мышечные волокна  
(МВ)





# ДЕ



## МАЛЫЕ (медленные)

- ❑ малое число МВ на 1 мотонейрон (в мышцах глазного яблока = 3-6 МВ, мышцы пальцев = 10-25 МВ)
- ❑ Образуют мышцы мелкой моторики
- ❑ «Слабые» по силе
- ❑ Иннервируются из одного сегмента спинного мозга
- ❑ Мотонейроны небольшие, легко возбудимы.

## БОЛЬШИЕ (быстрые)

- ❑ Много МВ (у икроножной мышцы  $\approx$  2000 МВ; спины - 1000)
- ❑ Крупные мотонейроны
- ❑ Низкая возбудимость, высокая частота (20-50 имп /1с)
- ❑ Высокая скорость возбуждения.
- ❑ Включаются при высоких нагрузках
- ❑ Сильные, но слабо координированные

- В каждой мышце определенное количество и соотношение малых и больших ДЕ, фа
- Соотношение зависит от местоположения и функции мышцы (туловище – 98% - медленные; нижние конечности – 40-90 быстрые), определяется как и композиция мышц - **ГЕНОТИПОМ**

**Нарастание нагрузки вызывает сначала активацию малых ДЕ затем больших (правило Хеннемана)**

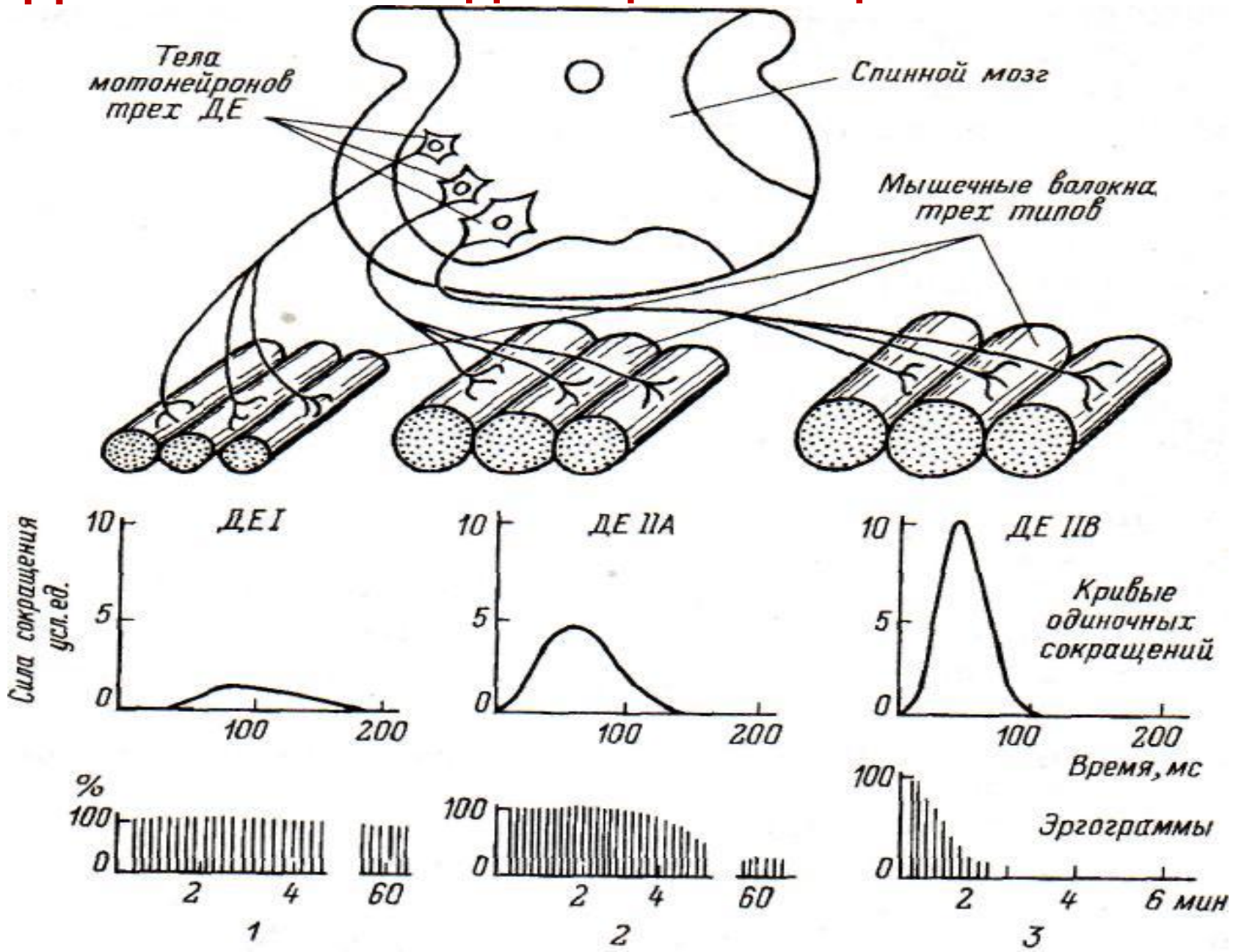
# Фазные и Тонические ДЕ

- **В состоянии покоя работают тонические нейромоторные единицы, в состоянии активности — фазные нейромоторные единицы.**
- **Фазные** образуют **альфа-мотонейроны** (крупные), скорость проведения импульса = 120 м/с. Активируются единичными импульсами. Различают **быстрые и медленные НМЕ**.
- **Быстрые** - обеспечивают **динамическую работу**, когда быстрое сокращение сменяется быстрым расслаблением, характерно анаэробное образование энергии. Их мышечные волокна - белые мышцы;
- **Медленные** — обеспечивают **статическую работу**, медленное, длительное сокращение мышц. Основной поставщик энергии окислительно-восстановительные процессы. Содержит миоглобин, который депонирует кислород. Иннервируют красные мышцы.
- **Тонические** образуют **гамма-мотонейроны** обеспечивают медленное сокращение мышц, **тонус**.
- Попеременное включение разных нейромоторных единиц обеспечивает изменение функционального состояния мышцы.

# Параметры мышечного сокращения зависят:

- От кол-ва ДЕ в мышце;
- От активности нейронов (мозга),
- От взаимодействия ДЕ (у спортсменов – более согласованно)
- От параметром нервного импульса (частота) если  $< 20$  Гц, работают малые ДЕ
- Если  $> 25$  включаются большие ДЕ (сила сокращения больше)

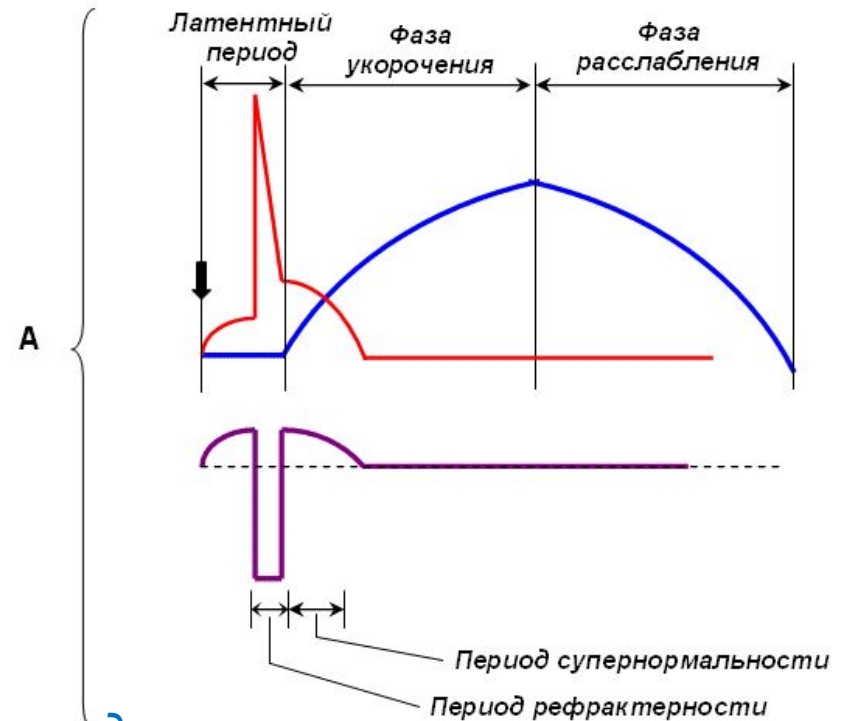
# Двигательные единицы мышц: типы



# Мышечное сокращение

- Одиночный импульс ⇒ **одиночное сокращение**
  - **3 фазы сокращения**
1. латентный (скрытый) период сокращения (около 10 мс) - развивается потенциал действия и протекают процессы электрохимического сопряжения;
  2. фаза укорочения (около 50 мс);
  3. фаза расслабления (около 50 мс).
  4. Фаза остаточных колебаний

- Возбудимость мышцы при сокращении изменяется в соответствии с фазами ПД



Изменение длины мышцы

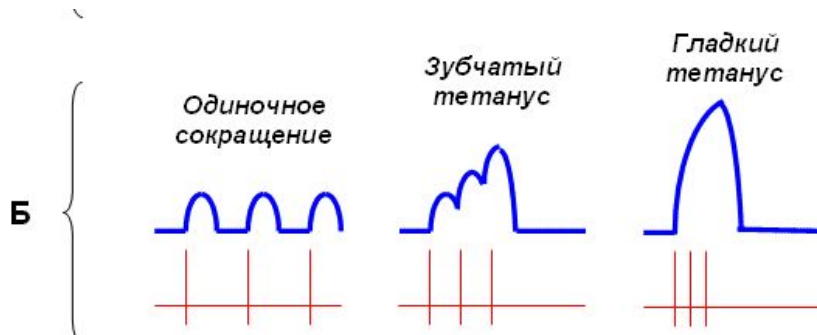
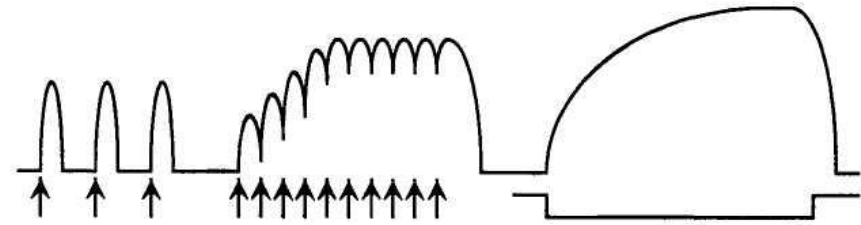
ПД мышцы

возбудимость

## Тетаническое сокращение:

При высокой частоте **зубчатый тетанус** – длительное сокращение, прерываемое периодами неполного расслабления мышцы.

• При частоте 120-150 имп/с- **гладкий тетанус** – длительное сокращение, не прерываемое периодами расслабления.



Изменение длины мышцы

ПД мышцы

возбудимость



# Формирование тетануса в зависимости от частоты раздражения





# Контрактура



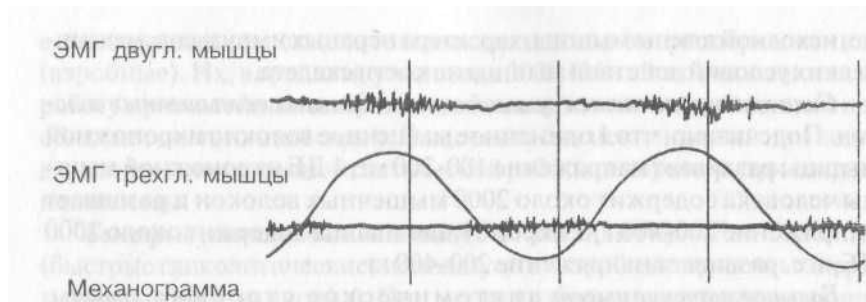
вид сокращения, характеризующегося **продолжительностью (обратимой, или физиологической - после длительной работы и необратимой, или патологической - Косолапость, кривошея)**

Причины: недостаток (АТФ), повреждение сухожилий, нарушение откачивания ионов  $\text{Ca}^{++}$

....

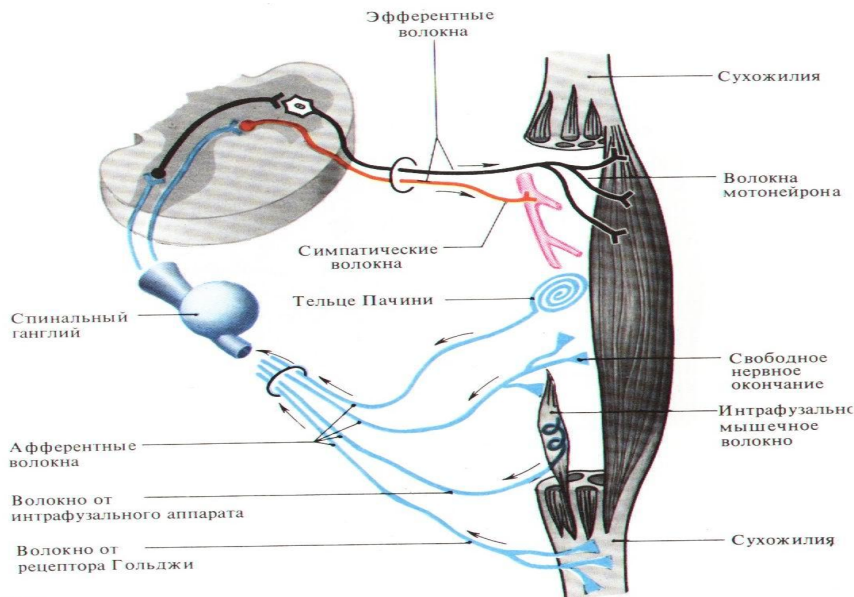
# Регистрация сокращений

- Миограмма
- Осциллограмма
- Электромиограмма (ЭМГ) – ее форма при статических усилиях имеет непрерывный вид, а при динамической работе - пачки импульсов.
- Чем больше нагрузка и сила сокращения мышцы, тем выше амплитуда ЭМГ (увеличением частоты импульсов, вовлечением большего числа ДЕ , их синхронизация).
- При утомлении амплитуда ЭМГ сначала нарастает, а затем снижается, наблюдается десинхронизация.



# Тонус мышц

- состояние тонического напряжения за счет активности медленных моторных единиц, **без развития утомления.**
- обусловлен афферентными влияниями с мышечных веретен (работа мышечного анализатора)
- Снижается во время сна
- После смерти - исчезает

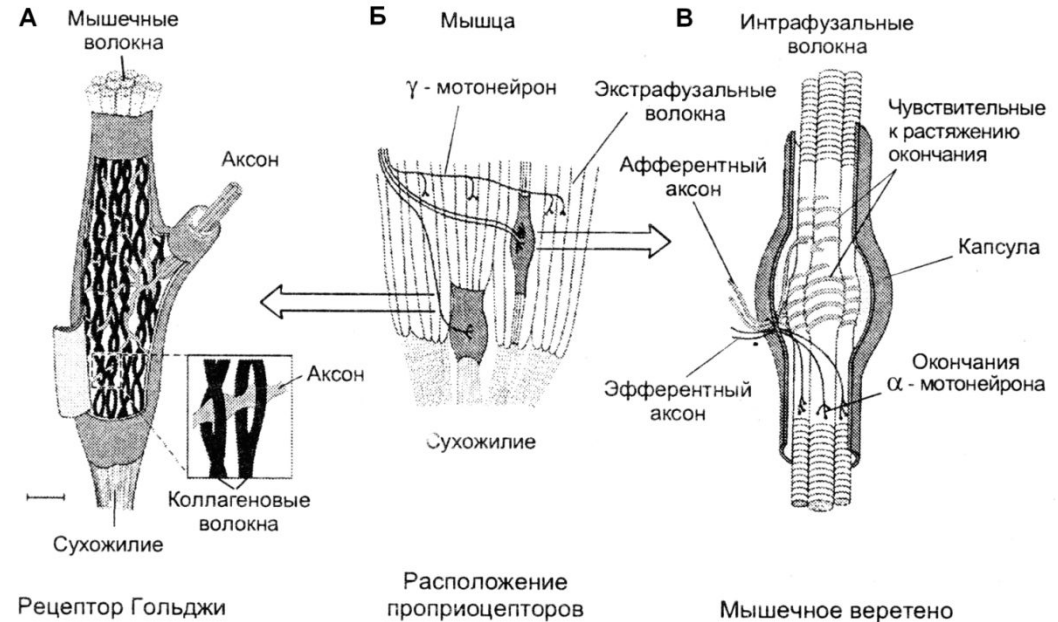


# Рецепторы мышц

- В составе скелетных мышц есть 2 группы волокон: **экстрафузальные и интрафузальные.**  
**Экстрафузальные** волокна образуют основную массу мышцы и **выполняют всю работу**, необходимую для движения и поддержания позы.
- **Интрафузальные волокна** – это видоизменённые мышечные волокна, которые входят **в состав веретена** и **выполняют рецепторную функцию.**

# Интрафузальное волокно

- состоит из центральной части - ядерной сумки - и двух периферических участков, которые имеют поперечную исчерченность и обладают способностью сокращаться.
- Имеет вид веретёна - прикрепляется одним концом к экстрафузальным волокнам, а другим – к сухожилию мышцы, Реагируют на растяжение мышцы, так как при изменении длины мышцы будет изменяться и длина мышечных веретён
- В центральной части, обвивая ядерную сумку в виде спирали, располагаются чувствительные к растяжению нервные окончания, обеспечивают восприятие изменения длины мышцы и скорости её удлинения.



# Рабочая гипертрофия (гиперплазия) мышц

- *Гипертрофия = увеличение поперечника*
- **1) саркоплазматическая** - утолщение мышечных волокон за счет увеличения объема саркоплазмы ( несократительной части мышечных волокон)=> повышение резервов (запасов) мышцы: гликогена, безазотистых веществ, креатинфосфата, миоглобина, увеличение капилляров. Мало влияет на рост силы мышц, но **повышает их выносливость.**
- **2) миофибриллярная** - увеличение объема миофибрилл (сократительного аппарата) МВ. Возрастает плотность укладки миофибрилл, **Повышает силу.**
- Тип гипертрофии определяется характером тренировки.
- В основе - синтез мышечных белков, важную роль играют гормоны – *стероиды (андрогены).*
- Рабочие гипертрофия и атрофия обратимы

# Факторы, стимулирующие синтез миофибрилл (по Селуянову В.Н.)

- 1. пул аминокислот в клетке (прием протеинов, аминокислот)
- 2. повышенная концентрация анаболических гормонов (тестостерона, соматотропина)
- 3. свободный креатин ( стимулирует деятельность ДНК )
- 4. умеренное повышение концентрации ионов водорода (производит частичное разрушение белковых структур, что влечет увеличение активности ферментов)

## Гиперплазия быстрых мышечных волокон (БМВ) ( для скоростно-силовых видов спорта)

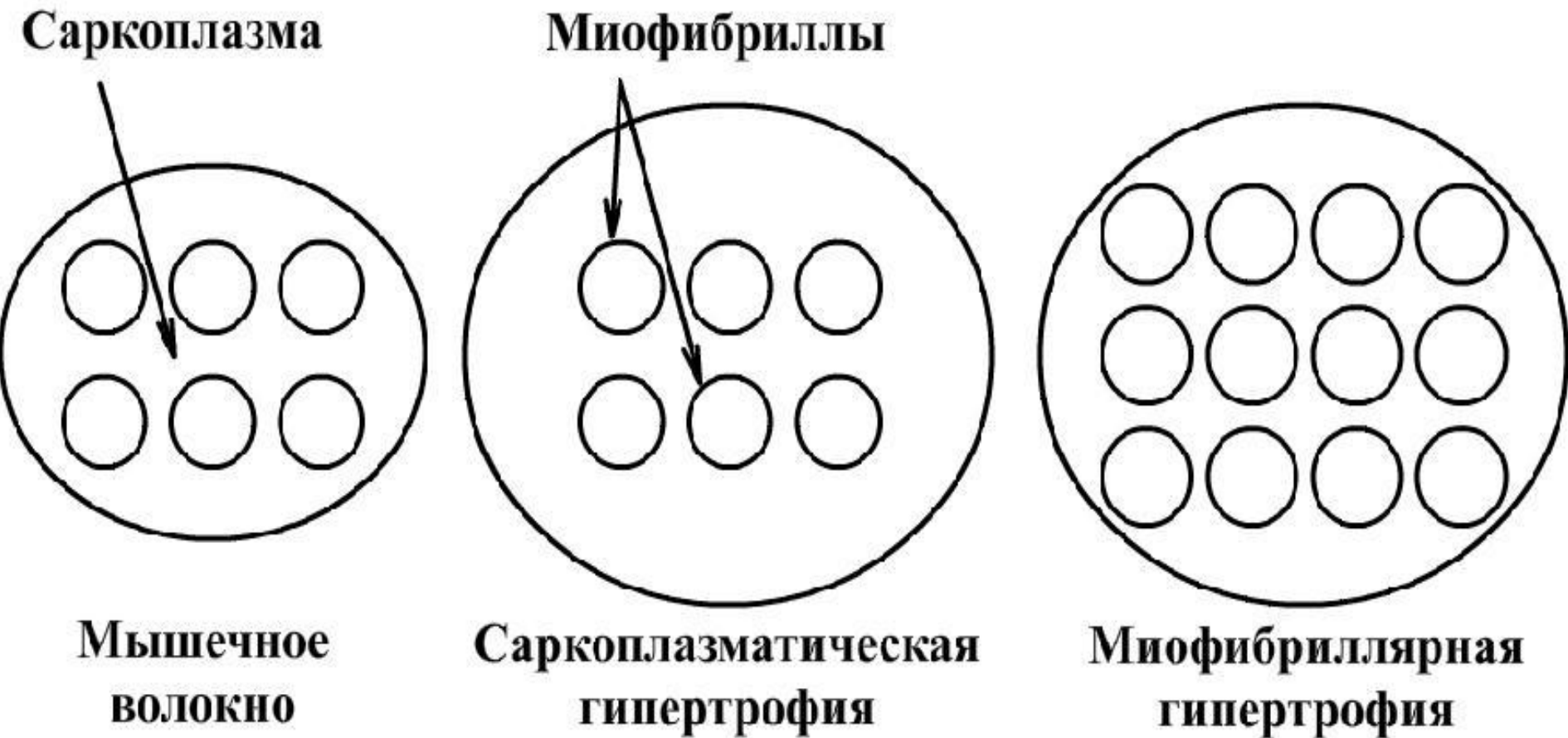
- - интенсивность 70- 90 % от максимальной силы
- Динамическая работа «до отказа»
- -количество повторений 6-12 в одном подходе
- -длительность 30-70 сек
- -принцип вынужденных движений
- -интервал отдыха 5 мин (или активный отдых на ЧСС-100-120 уд.мин)
- -количество тренировок в неделю = 2
  
- длительный отдых (7-10 дней) после предельной по объему тренировки объясняется долгим процессом образования новых миофибрилл в мышечных волокнах



# **I гиперплазия миофибрилл в медленных мышечных волокнах (ММВ)**

- интенсивность 30-70% от максимальной силы
- количество повторений 15-25 в одном подходе
- длительность 50-60 сек (отказ от боли)
- режим статодинамический
- интервал отдыха 20-60 сек
- число подходов 7-12
- отдых через 3-5 дней

# Типы гипертрофии СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ



# Работа мышц

□ Работа - энергия, затрачиваемая на перемещение тела с определенной силой на определенное расстояние:

$$A = F \cdot S.$$

□ **Закон средних нагрузок** - мышца может совершать максимальную работу при нагрузках средней величины при средней частоте

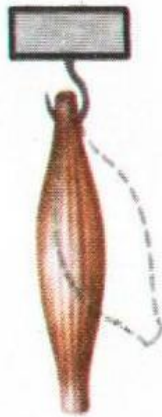
**Работа, совершаемая мышцей в единицу времени = мощность.**

# Фазы работы целой мышцы

## 1. Развитие напряжения

## 2. Укорочение:

- **Изотоническое** – укорочение при постоянной внешней нагрузке (в реальных условиях – отсутствует)
- **Изометрическое** – напряжение без изменения длины (статическая работа)
- **Ауксотоническое** – развивает напряжение и укорачивается (динамическая работа)



Изотонический режим



Изометрический режим



Смешанный режим

# При динамической работе

Изометрическое сокращение

Сокращение мышцы без движения



(a)

Концентрическое сокращение  
Мышца укорачивается



(b)

Эксцентрическое сокращение  
Мышца удлиняется

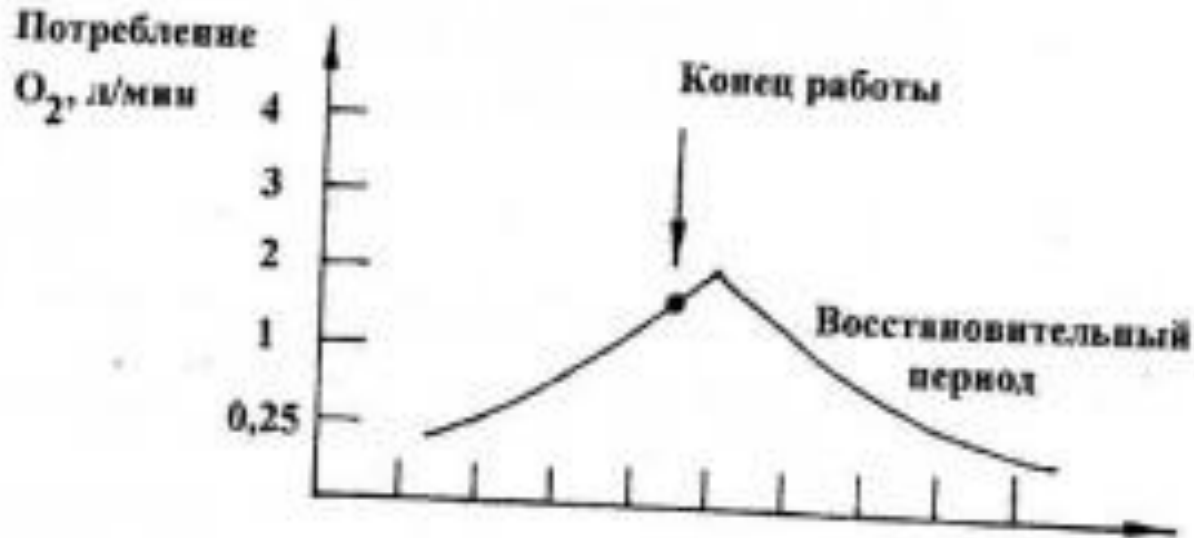


(c)

- Мышца укорачивается, если внешняя нагрузка меньше силы сокращения – **концентрический тип сокращения**
- Мышца растягивается, если внешняя нагрузка больше напряжения мышцы – **эксцентрический тип сокращения**

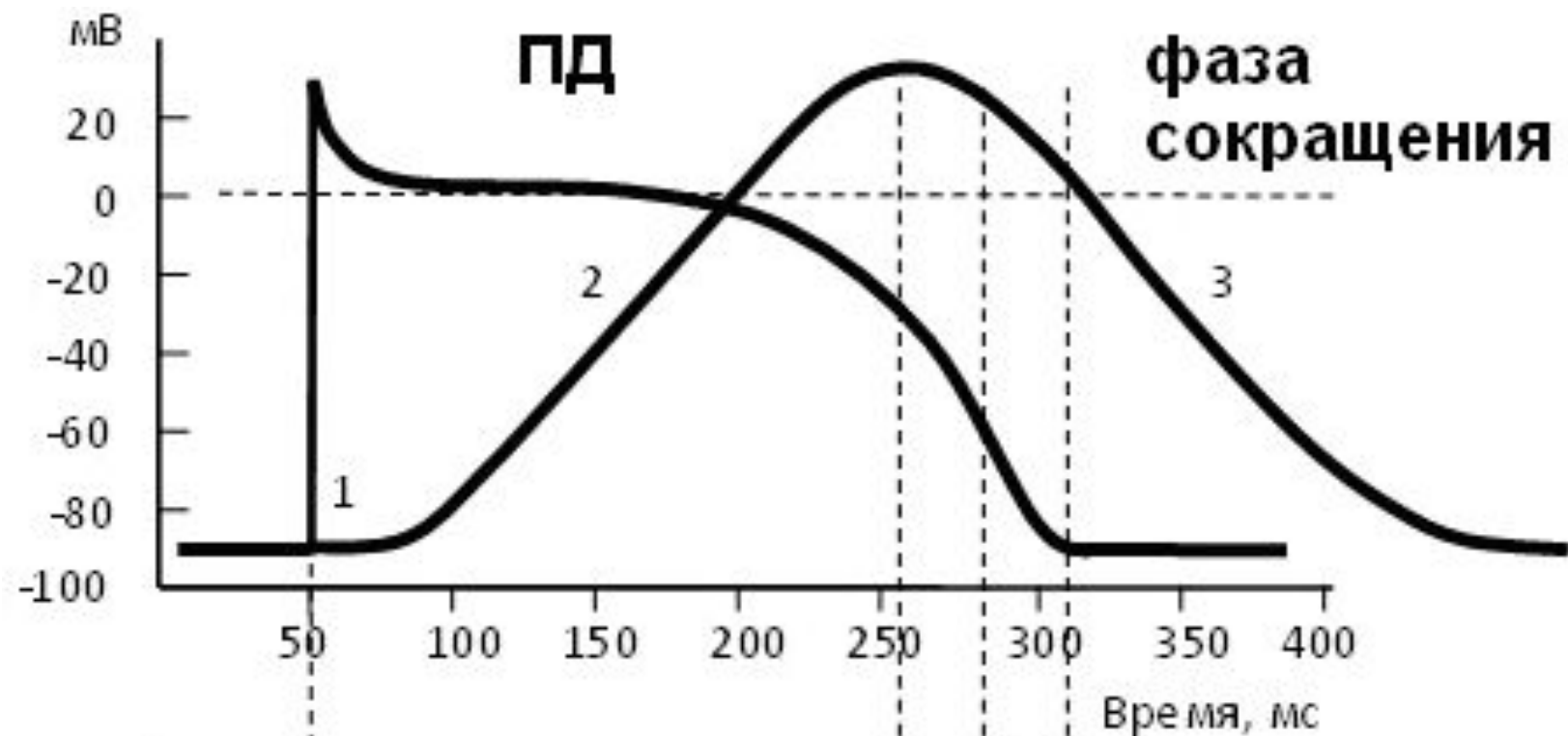
# Статическая работа

- характеризуется быстрым утомлением, кровообращение в мышцах затруднено, что приводит к застою крови и накоплению неокисленных продуктов
- наблюдается незначительное увеличение потребления кислорода, но после её прекращения потребление кислорода резко возрастает и усиливается кровоток и АД (**феномен Лингарда**)

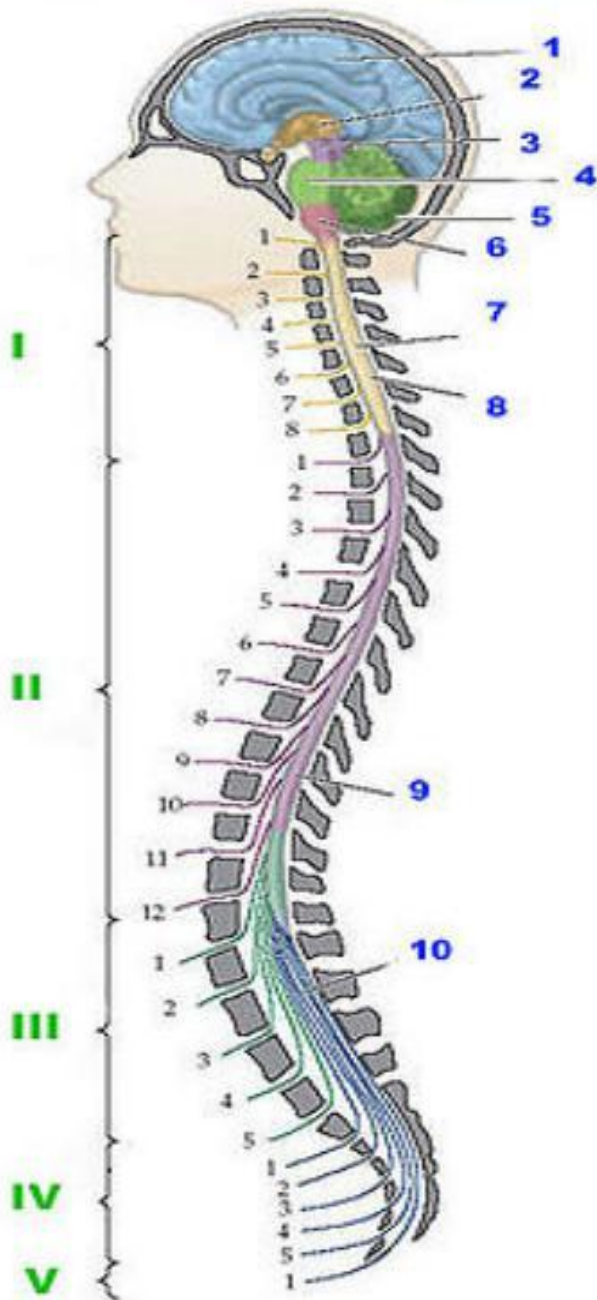


# Гладкие мышцы (ГМ)

- Состоят из одиночных клеток веретенообразной формы (*миоциты*)
- Сократительные филаменты расположены нерегулярно ⇒ отсутствует поперечная исчерченность мышцы.
- Механизм сокращения такой же, но скорость скольжения филаментов и гидролиза АТФ в 100 – 1000 раз ниже ⇒ сокращение медленное, длительное, не приводящее к утомлению и большим энергозатратам.
- При возбуждении клетки  $Ca^{++}$  поступает из саркоплазматического ретикулума и из межклеточного пространства. Участвуют белки кальмодулин, фермент киназа миозина.
- **СВОЙСТВА ГМ**
- *Пластичность* - могут сохранять постоянный тонус как в укороченном, так и в растянутом состоянии.
- *Проводимость* проявляется в распространении возбуждения от одного миоцита к другому через специализированные контакты (нексусы).
- *Автоматия* - миоциты способны самопроизвольно генерировать ритмически повторяющиеся потенциалы действия.



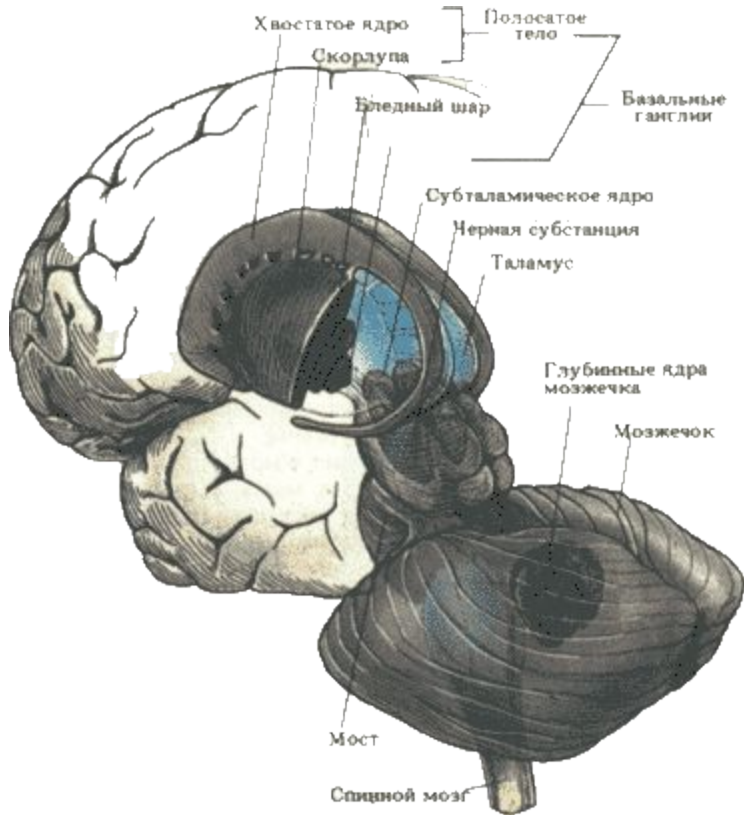




## ■ Центральная нервная система (ЦНС)

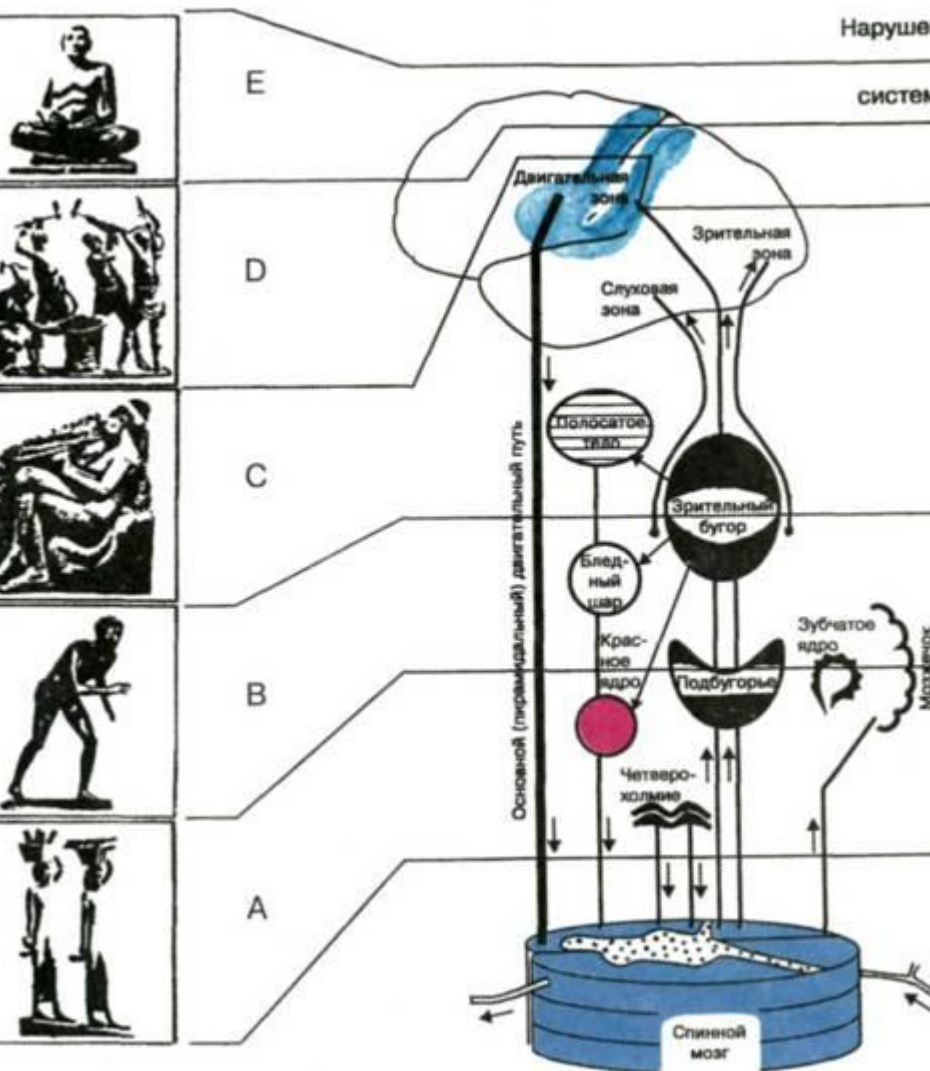
- I. Шейные нервы.
  - II. Грудные нервы.
  - III. Поясничные нервы.
  - IV. Крестцовые нервы.
  - V. Копчиковые нервы.
1. Головной мозг.
  2. Промежуточный мозг.
  3. Средний мозг.
  4. Мост.
  5. Мозжечок.
  6. Продолговатый мозг.
  7. Спинной мозг.
  8. Шейное утолщение.
  9. Поперечное утолщение.
  10. «Конский хвост»

# Уровни регуляции движений



- Спинной мозг
- Мозжечок
- Средний мозг
- Базальные ядра (стриопаллидарная система и таламус)
- КБП (моторная кора – уровень пирамидных нейронов) + зоны речи

# Уровни построения движений



**А – Руброспинальный уровень палеокинетических регуляций.** Уровень регуляции тонуса организма, в первую очередь его нервной и мышечной системы.

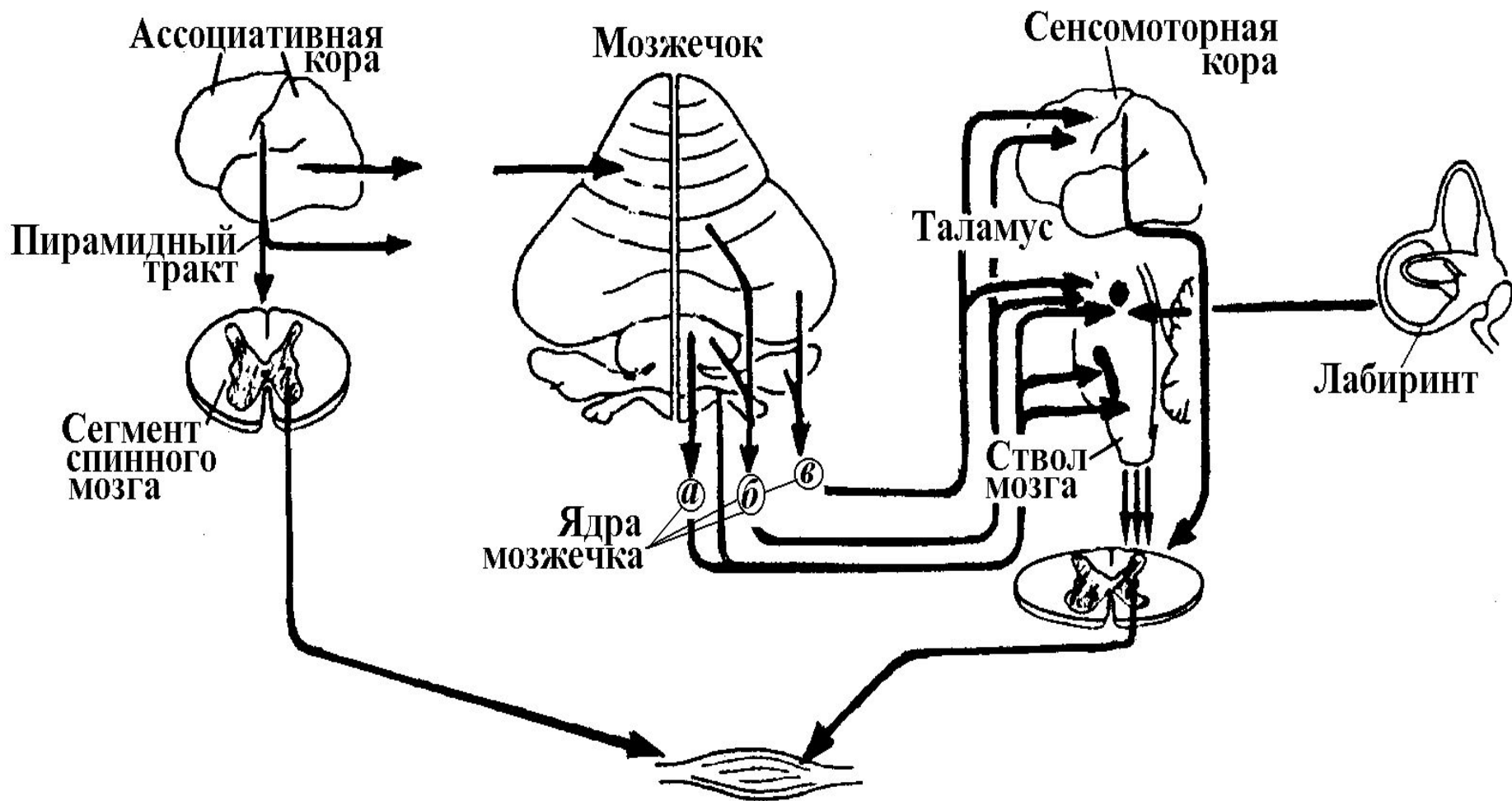
**В – Уровень синергий и штампов или таламо-паллидарный уровень** руководит всеми основными двигательными автоматизмами тела в целом.

**С – Пирамидно-стриальный уровень пространственного поля.** Уровень реального, «здесь и сейчас», восприятия пространства и действий в нем.

**Д – Теменно-премоторный уровень действий.** Уровень топологического восприятия и действия.

**Группа уровней Е - Уровни, лежащие выше уровня действий.** Уровни интеллекта.

# Взаимодействие различных отделов моторной системы ЦНС



# Регуляция и построение движений (по Н.А. Бернштейну)



- результат любого сложного движения зависит не только от управляющих сигналов, но и от факторов, которые вносят отклонения в запланированный ход выполнения движений.
- Конечная цель может быть достигнута, если в ход выполнения движения вносятся поправки.
- Предложил **принцип сенсорных коррекций**, понятия «**обратная связь**» и «**рефлекторное кольцо**»

# Теория функциональных систем

(по П.К. Анохину)

Петр Кузьмич Анохин (1898 – 1974 гг.)—основоположник физиологической кибернетики, создатель теории функциональных систем, исследований нейрофизиологических механизмов высшей нервной деятельности.







# Координация работы мышц

## Внутримышечная

- Определяется степенью вовлеченности двигательных единиц
- Способность включать ДЕ (рекрутировать ДЕ)

Неспортсмены – 60%

Спортсмены – 85%

Способствует развитию силы

## Межмышечная

- Среди синергистов
- Среди антагонистов

### Движение:

1. Взрыв силы агонистов
2. Снижение силы агонистов, напряжение антагонистов
3. Работа антагонистов возвращает в исходное положение.

На тренировках повышают силу агонистов, растягивают антагонисты

Растяжение мышц повышает упругость ⇒ повышает скорость ⇒

Снижает травматизм и энергозатраты

Повышается на 2-3 стадии

# Двигательные навыки

- – это заученные двигательные действия, имеющие осознанный автоматизированный характер.
- Двигательный навык – это действие, доведенное в процессе упражнения до высокой степени совершенства, выполняемое точно, экономично, качественно.

# Стадии формирования

Образование навыка = **ознакомление** со структурой упражнения.

Создание понятий и представлений о технике действия.

Есть понимание действия, но при выполнении грубые ошибки, лишние движения.

Необходим зрительный контроль тренера или спортсмена

## 2. Овладение приемами формирования навыка

- Поиск движений и упражнений для правильного выполнения действия.
- Более четкие мышечно-двигательные ощущения и восприятия.
- Роль двигательного и вестибулярного контроля.
- Меньше ошибок, ряд элементов – до автоматизма.
- Вызывается положительная психическая реакция на навык.

# Закрепление и совершенствование навыка

- Двигательное действие выполняется быстро, точно и экономно. Необходимость зрительного контроля исчезает.
- Контроль мышечно-двигательный
- Стадия не имеет завершения и совершенствуется пока спортсмен тренируется и выступает на соревнованиях

# Закономерности:

1. Образование имеет прогрессивно-поступательный характер (тенденцию к росту);
2. Скорость формирования навыка сначала высокая, затем снижается; результаты техники - непостоянны скачкообразная тенденция
- .3. На стадии совершенствования возникает стойкая стабилизация результатов, может возникнуть задержка в росте результатов