

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

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



- **Обмен веществ или метаболизм – это строго упорядоченная система биохимических и физиологических процессов, которые обеспечивают поступление питательных и других веществ в организм и их усвоение, превращение внутри клеток, а также выведение образовавшихся продуктов обмена во внешнюю среду.**
- **Обмен веществ обеспечивает процессы роста и развития, самообновление всех клеточных структур, энергообеспечение функций, постоянство внутренней среды, приспособление к воздействию факторам среды, в том числе к физическим нагрузкам, а также другие процессы жизнедеятельности**



- **ОСОБЕННОСТЬЮ ОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ЖИВОГО ОРГАНИЗМА ЯВЛЯЕТСЯ ИХ БОЛЬШАЯ СКОРОСТЬ, КОТОРАЯ ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ БИОЛОГИЧЕСКИМИ КАТАЛИЗАТОРАМИ – ФЕРМЕНТАМИ.** В клетках существуют целые комплексы ферментов взаимодействующие между собой, создавая сложные метаболические пути обмена различных веществ.
- **МЕТАБОЛИЧЕСКИЙ ПУТЬ – ЭТО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ, В ХОДЕ КОТОРЫХ ПРОИСХОДИТ ПОСТЕПЕННОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ ВЕЩЕСТВ С УЧАСТИЕМ МНОГИХ ФЕРМЕНТОВ ДО СООТВЕТСТВУЮЩИХ КОНЕЧНЫХ ПРОДУКТОВ.**
- **ВЕЩЕСТВА, которые образуются в ходе метаболических реакций называются метаболитами.**
- **ЦЕНТРАЛЬНЫМ МЕТАБОЛИЧЕСКИМ ПУТЕМ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА ЯВЛЯЕТСЯ АЭРОБНЫЙ ПУТЬ ОКИСЛЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ, КОТОРЫЙ ВКЛЮЧАЕТ ПОСТЕПЕННЫЙ РАСПАД МОЛЕКУЛЫ ГЛЮКОЗЫ ДО ПИРОВИНОГРАДНОЙ КИСЛОТЫ, А ЗАТЕМ ДО АЦЕТИЛ-КоА С ПОСЛЕДУЮЩИМ ОКИСЛЕНИЕМ В ЦИКЛЕ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ ДО КОНЕЧНЫХ ПРОДУКТОВ ОБМЕНА CO_2 и H_2O .**
- **На нем сходятся многие другие пути превращения питательных веществ, которые сопровождаются выделением свободной энергии.**

КАТАБОЛИЧЕСКИЕ И АНАБОЛИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ

- **АНАБОЛИЗМ (АССИМИЛЯЦИЯ) – ЭТО ПРОЦЕССЫ СИНТЕЗА СЛОЖНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ПРОСТЫХ МОЛЕКУЛ.** Образуются нуклеиновые кислоты, белки и другие макромолекулы организма. Анаболические реакции протекают с использованием химической энергии в виде АТФ или НАДН₂.
- **КАТАБОЛИЗМ (ДИССИМИЛЯЦИЯ) – ЭТО ПРОЦЕССЫ РАСПАДА СЛОЖНЫХ ВЕЩЕСТВ В КЛЕТКАХ ОРГАНИЗМА ДО БОЛЕЕ ПРОСТЫХ ИЛИ ДО ОБРАЗОВАНИЯ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОНЕЧНЫХ ПРОДУКТОВ РАСПАДА (СО₂, Н₂О, NH₃ и др.) и ВЫВЕДЕНИЯ ИХ ИЗ ОРГАНИЗМА.** Катаболические реакции сопровождаются выделением свободной энергии, которая заключена в сложных молекулах органических веществ. Часть этой энергии превращается в химическую форму энергии (АТФ, НАДН₂ и др.) и запасается в клетках организма. Большая часть энергии рассеивается в виде тепла.
- **АНАБОЛИЗМ И КАТАБОЛИЗМ – ЭТО РАЗНОНАПРАВЛЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ НЕЗАВИСИМО ДРУГ ОТ ДРУГА, НО ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ.**
- Скорость и сбалансированность анаболических и катаболических процессов зависят от многих факторов: возраста, индивидуального обмена веществ и энергии, от двигательной активности человека. У детей анаболические процессы преобладают над катаболическими. Это создает условия для роста организма и накопления мышечной массы. Анаболические процессы протекают с большими затратами энергии, поэтому детям не рекомендуются тяжелые и длительные физические нагрузки, которые могут затормозить процессы роста
- После 17-20 лет устанавливается динамическое равновесие между анаболизмом и катаболизмом. Это фиксируется по относительному постоянству массы тела.
- Нарушение сбалансированности анаболических и катаболических процессов наблюдается при ряде заболеваний, неправильном питании, воздействии неблагоприятных факторов среды, чрезмерных физических нагрузках, неправильной организацией тренировочного процесса.

Взаимосвязь анаболических и катаболических процессов обмена веществ



ВИДЫ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ

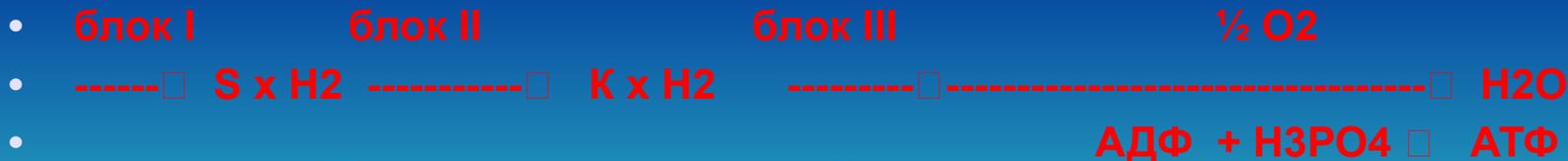
1. **ОБМЕН С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ** – это химические процессы, которые обеспечивают поступление питательных и других веществ в организм и выведение продуктов обмена во внешнюю среду (за счет пищеварения, дыхания, выведения).
 2. **ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ОБМЕН** – это обмен, который объединяет внутриклеточные превращения веществ, поступивших из внешней среды и синтезированных в клетках. Обеспечивает организм необходимыми структурными компонентами и энергией.
 3. **ПЛАСТИЧЕСКИЙ ОБМЕН** - это комплекс химических реакций, которые обеспечивают синтез специфических для организма веществ: структурных компонентов, сократительных белков, ферментов, гормонов, жиров, сложных углеводов и др.
 4. **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ОБМЕН** – это химические реакции, которые лежат в основе функциональной активности клеток, органов, систем организма. Обеспечивает деление клеток, сокращение мышц, передачу нервного импульса, обмен газов и др.
 5. **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН** – это метаболические процессы, связанные с образованием АТФ, запасанием энергии при ее синтезе и последующим преобразованием энергии при различных видах активности клеток. В процессе адаптации организма к мышечной деятельности повышается эффективность процессов энергообразования, в результате организм работает энергетически более экономно.
- 

ЭТАПЫ РАСПАДА ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

- Распад питательных веществ в организме происходит постепенно.
1. **ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП** – на подготовительном этапе сложные молекулы углеводов, жиров и белков распадаются до простых структурных мономеров: белки – до 20 разных аминокислот, сложные углеводы – до моносахаридов (в основном глюкозы), жиры – до глицерина и жирных кислот. На этом этапе выделяется незначительное количество энергии: при распаде белков и углеводов – 0,6% потенциальной энергии, при распаде жиров – 1%.
 2. **ЭТАП УНИВЕРСАЛИЗАЦИИ** – образовавшиеся различные вещества превращаются в единое вещество – ацетил-КоА, который является активной формой уксусной кислоты. Ацетил-КоА играет главную роль в метаболизме углеводов, жиров и белков, так как объединяет пути превращения различных органических веществ. На этом пути освобождается 1/3 потенциальной энергии, заключенной в окисляемых веществах.
 3. **ЭТАП ОКИСЛЕНИЯ** – это конечный метаболический путь распада всех питательных веществ. Он включает цикл лимонной кислоты, систему терминального окисления (дыхательная цепь) и процесс окислительного фосфорилирования, который протекает на мембранах митохондрий. В процессе сложных окислительных превращений ацетил-КоА распадается до конечных продуктов CO_2 и H_2O . При этом выделяется 2/3 энергии. Часть энергии выделяется в виде тепла, а другая ее часть накапливается в химических связях молекул АТФ, образующихся в процессе окислительного фосфорилирования – присоединения фосфорной кислоты к АДФ.
- 

ЭТАПЫ РАСПАДА ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

- **III этап – это окончательный распад веществ до CO_2 и H_2O с участием O_2 .** Эта фаза – аэробного биологического окисления веществ протекает с полным освобождением энергии. **ОСОБЕННОСТЬ 3 фазы:** Из 3х метаболитов предыдущей фазы, после цикла Кребса, остается только H_2 , связанный с переносчиками НАД или ФАД.
- **H_2 – универсальное энергетическое топливо, которое используется в дыхательной цепи для образования АТФ и H_2O .**
- 80% всей энергии химических связей веществ освобождается в данной фазе. Эта энергия окисления субстратов сосредотачивается в фосфатных связях АТФ и часть ее выделяется в виде теплоты.
- Все эти реакции локализуются в митохондриях.
- Освобождение энергии в живой клетке осуществляется постепенно.
- Весь энергетический аппарат клетки устроен из 3х блоков, имеющих разное функциональное значение.
- **БЛОК I** – процессы образования субстратов окисления – SH_2
- **БЛОК II** - процессы генерации H_2 . KH_2 – водород, связанный с коферментом.
- **БЛОК III** – процессы окисления водорода кислородом, сопряженные с синтезом АТФ.



Биологические окисление

- **БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ – ОСНОВНОЙ ПУТЬ ЭНЕРГООБРАЗОВАНИЯ В КЛЕТКАХ.**
- Существенный вклад внесли: А.В.Энгельгард (1930) и В.А.Белицер (1941). Они установили взаимосвязь (сопряжение) процесса окисления с фосфорилированием АДФ.
- Энергия, выделяющаяся при окислении питательных веществ не только рассеивается в виде тепла, но и накапливается в молекулах АТФ.
- Большой вклад в изучении биологического окисления внесли: О.Варбург, Г.Кребс, П. Митчелл, А.Ленинджер, В.П.Скулачев.
- При обмене веществ в организме человека протекают окислительно-восстановительные реакции.

- **ОКИСЛЕНИЕ СВЯЗАНО:**

- 1. С отщеплением водорода от окисляемого субстрата (дегидрирование).
- 2. С потерей электрона.
- 3. С присоединением кислорода. Процесс восстановления – присоединение электронов к какому-то веществу (акцептору электронов).

• доно́р

• В неживой природе – реакция горения: $\text{H}_2 - 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}^+$ (окисление)

• акце́птор

• $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}^{2-}$ (восстановление)



- **Высокоэнергетические электроны молекулы H_2 переходят на низкоэнергетическую орбиту атома O_2 и теряют часть энергии.**
- Быстрое освобождение энергии – взрыв.
- В живых системах выделение энергии – постепенное.

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ

- Процесс биологического окисления питательного вещества – субстрата (S) в клетках организма протекает с участием специфических ферментов и переносчиков водорода (A) по схеме:



- **Процессы биологического окисления питательных веществ в клетках, протекаемые с участием O_2 воздуха называется тканевым дыханием.**

- ТИПЫ РЕАКЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ:

- АЭРОБНЫЕ и АНАЭРОБНЫЕ

- **АЭРОБНОЕ ОКИСЛЕНИЕ** – если акцептором H_2 является O_2 .

- оксидаза



- **АНАЭРОБНОЕ ОКИСЛЕНИЕ** – если акцептором H_2 является не O_2 , а какое-либо органическое вещество (например, S_2) – анаэробное окисление:

- дегидрогеназа



- Окислительно-восстановительные реакции с изменением валентности атомов **Fe** - это имеет место при передаче водорода на кислород в системе дыхательной цепи митохондрий

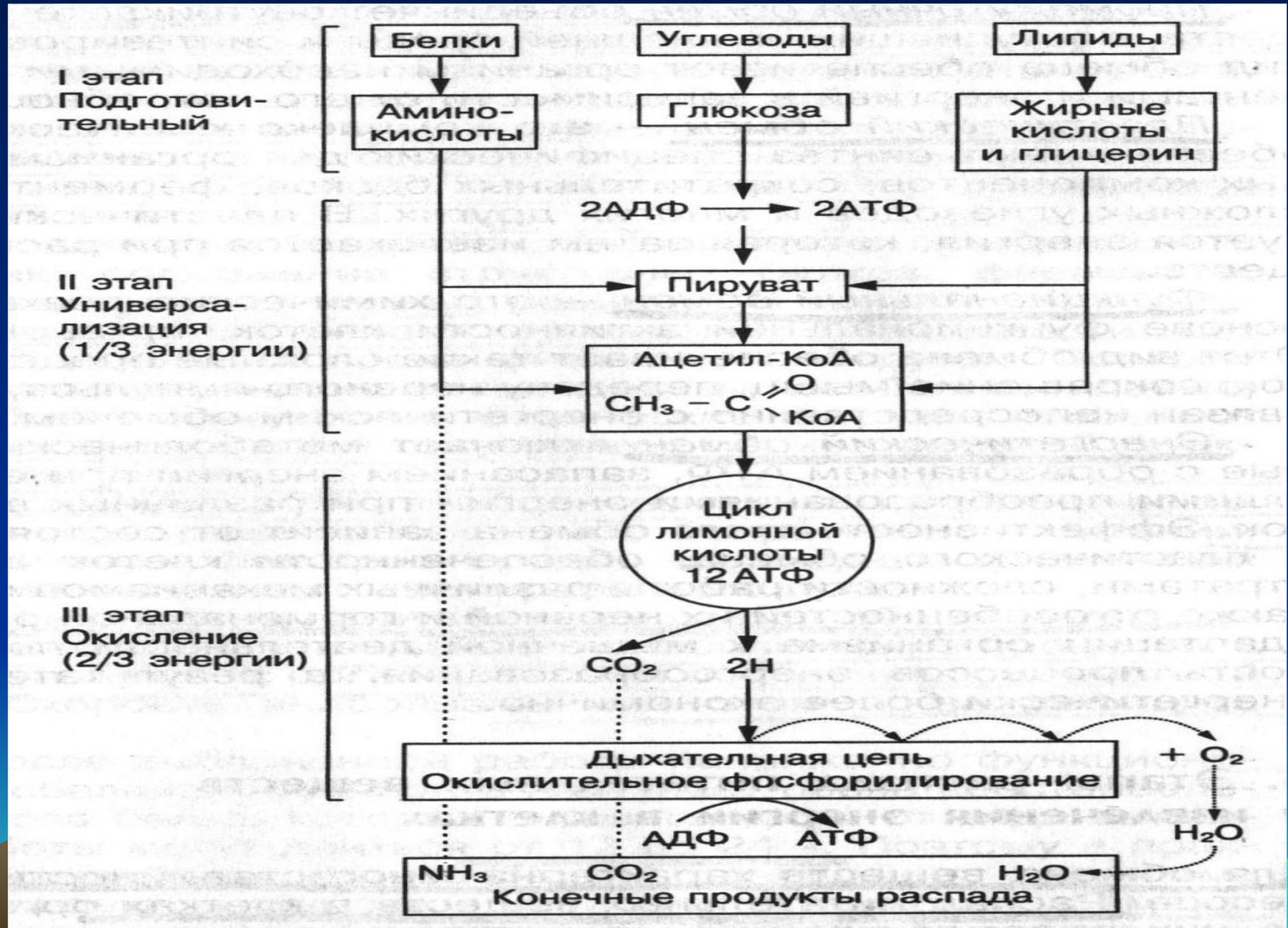


Взаимосвязь процессов биологического окисления и образования АТФ

- Освобождаемая энергия в ходе биологического окисления выделяется в виде тепла и улавливается в процессе синтеза макроэргических соединений.
- Свободное окисление – выделяющаяся энергия рассеивается в виде тепла □ для теплопродукции и детоксикации вредных продуктов обмена веществ. – При отдельных видах мышечной деятельности и интенсивной разминки.
- Сопряженное окисление – переход свободной энергии в макроэргические связи АТФ или другие виды энергии – ионный градиент.
- **Сопряженное окисление:** 1. Субстратное фосфорилирование 2. Окислительное фосфорилирование
- **Субстратное фосфорилирование** – это синтез АТФ за счет переноса высокоэнергетического ортофосфата (H_3PO_4) от окисляемого субстрата на АДФ в основном в мышцах при анаэробном окислении глюкозы с участием высокоспецифических ферментов.
- **Окислительное фосфорилирование** – это синтез АТФ за счет энергии, которая выделяется при переносе электронов по дыхательной цепи от окисляемых питательных веществ к атомарному кислороду.
- **Окислительное фосфорилирование** – это основной механизм образования АТФ в аэробных условиях.
- При окислительном фосфорилировании окисление в дыхательной цепи используется для образования протонного потенциала, который в дальнейшем приводит к синтезу АТФ.
- **При субстратном фосфорилировании окисление тесно связано с образованием первичного макроэргического соединения.**



ЭТАПЫ РАСПАДА ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ В КЛЕТКАХ



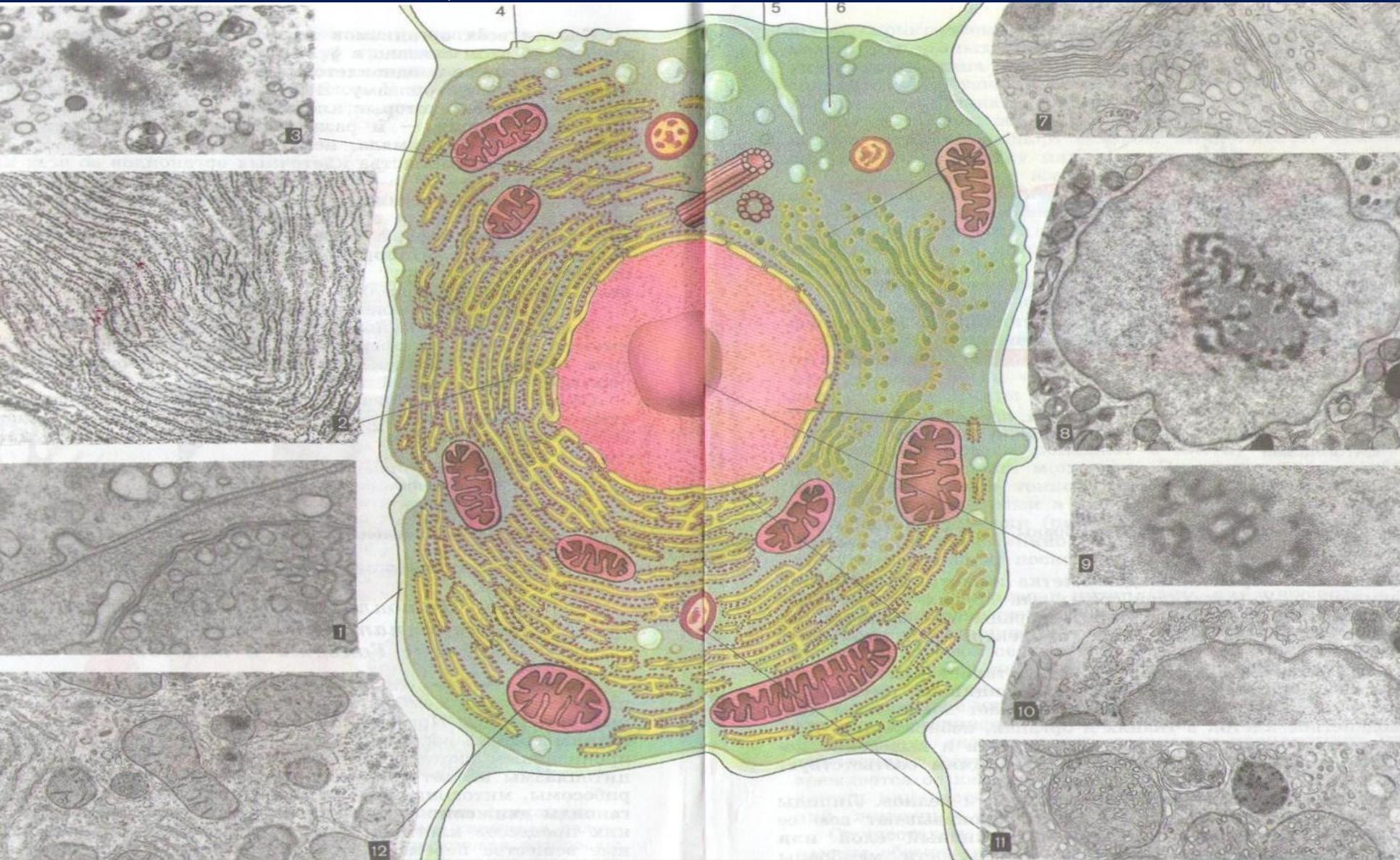
КЛЕТОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ И ИХ РОЛЬ В ОБМЕНЕ ВЕЩЕСТВ

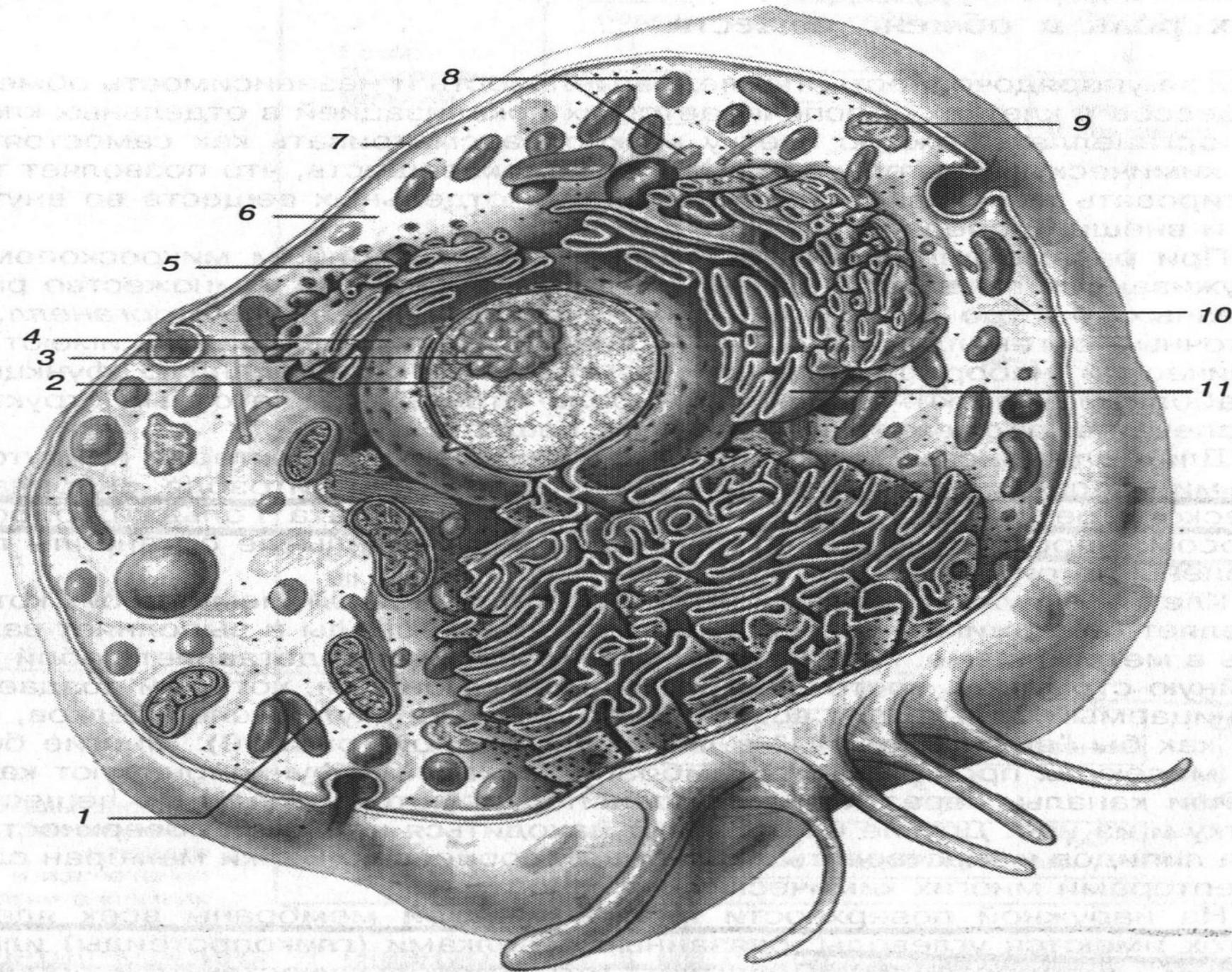
- Строгая упорядоченность, последовательность и независимость обменных процессов в клетках обеспечивается их локализацией в отдельных клеточных органеллах
- Для большинства клеток организма человека характерно присутствие восьми основных внутриклеточных компартментов: цитозоля, эндоплазматического ретикулума, ядра, митохондрий, аппарата Гольджи, рибосом, пероксисом.
- **Цитоплазма** – обязательная часть клетки, заключенная между плазматической мембраной и ядром. Пространство между компартментами заполнено цитозолем – вязким водным раствором различных солей и органических веществ и пронизано системой белковых нитей – цитоскелетом.



КЛЕТКА ПОД ЭЛЕКТРОННЫМ МИКРОСКОПОМ

1. -Плазматическая мембрана. 2. - эндоплазматическая сеть. 3. - центриоль. 4. - межклеточное пространство. 5.- пиноцитозный канал. 6. - пиноцитозный пузырек. 7. - Комплекс Гольджи. 8. - Ядро. 9. - ядрышко. 10. - ядерная оболочка. 11. - Лизосома. 12 - митохондрии





ПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ МЕМБРАНА

- 1.- липид; 2.-трансмембранный белок; 3.-периферический белок; 4,5 - углеводы

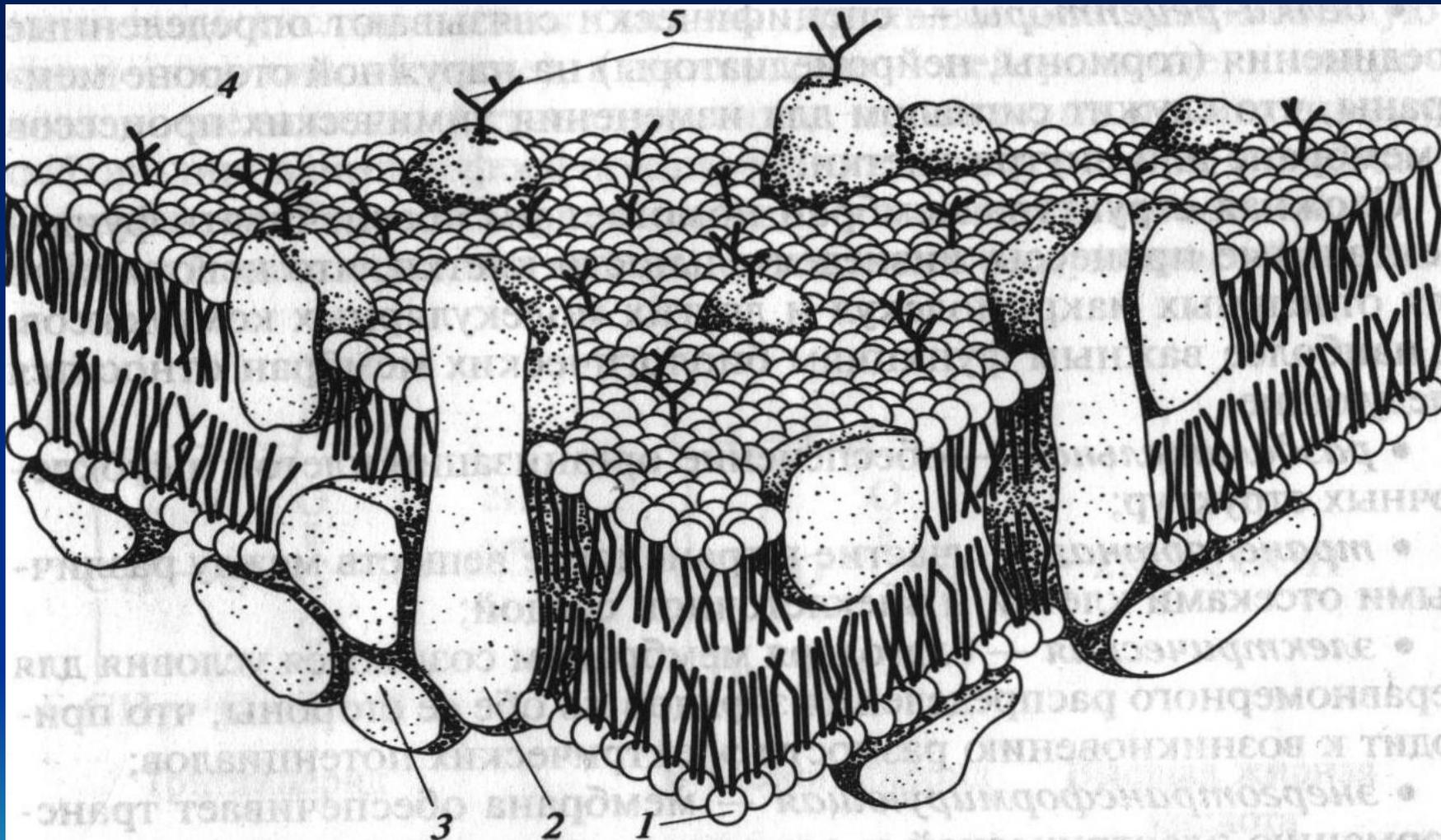
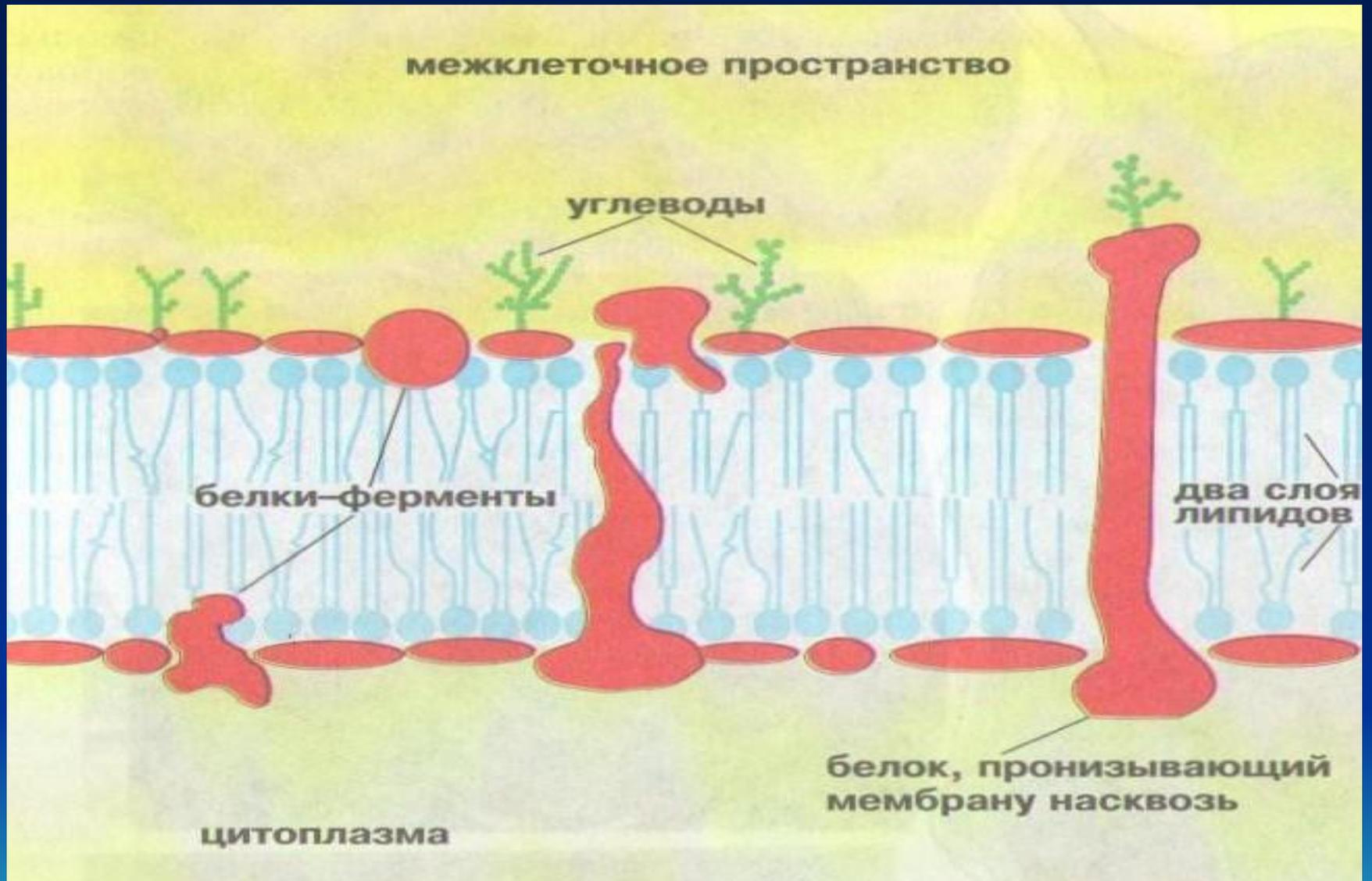


СХЕМА СТРОЕНИЯ ПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЫ



СВОЙСТВА БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕМБРАН

- В биологических мембранах присутствуют несколько классов белков, выполняющие определенные функции:
 1. Структурные белки – помогают поддержать структуры мембран.
 2. Ферменты – катализируют все химические превращения на мембранах.
 3. Транспортные белки – участвуют в транспорте соединений внутрь и наружу клеток и клеточных органелл.
 4. Белки-рецепторы – специфически связывают определенные соединения (гормоны, нейромедиаторы) на наружной стороне мембраны, что служит сигналом для изменения химических процессов в мембране или внутри клеток.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ МЕМБРАН:

1. **Разделительная** – обеспечение организации клеток и субклеточных структур.
2. **Транспортная** – участие в транспорте веществ между различными отсеками клетки и внеклеточной средой.
3. **Электрическая** – благодаря мембранам создаются условия для неравномерного распределения зарядов по обе ее стороны, что приводит к возникновению разности электрических потенциалов.
4. **Энерготрансформирующая** – мембрана обеспечивает трансформацию электрической и осмотической энергии и химическую энергию АТФ.
5. **Регуляторная** – мембраны участвуют в образовании внутриклеточных регуляторов обмена веществ (цАМФ и цГМФ).

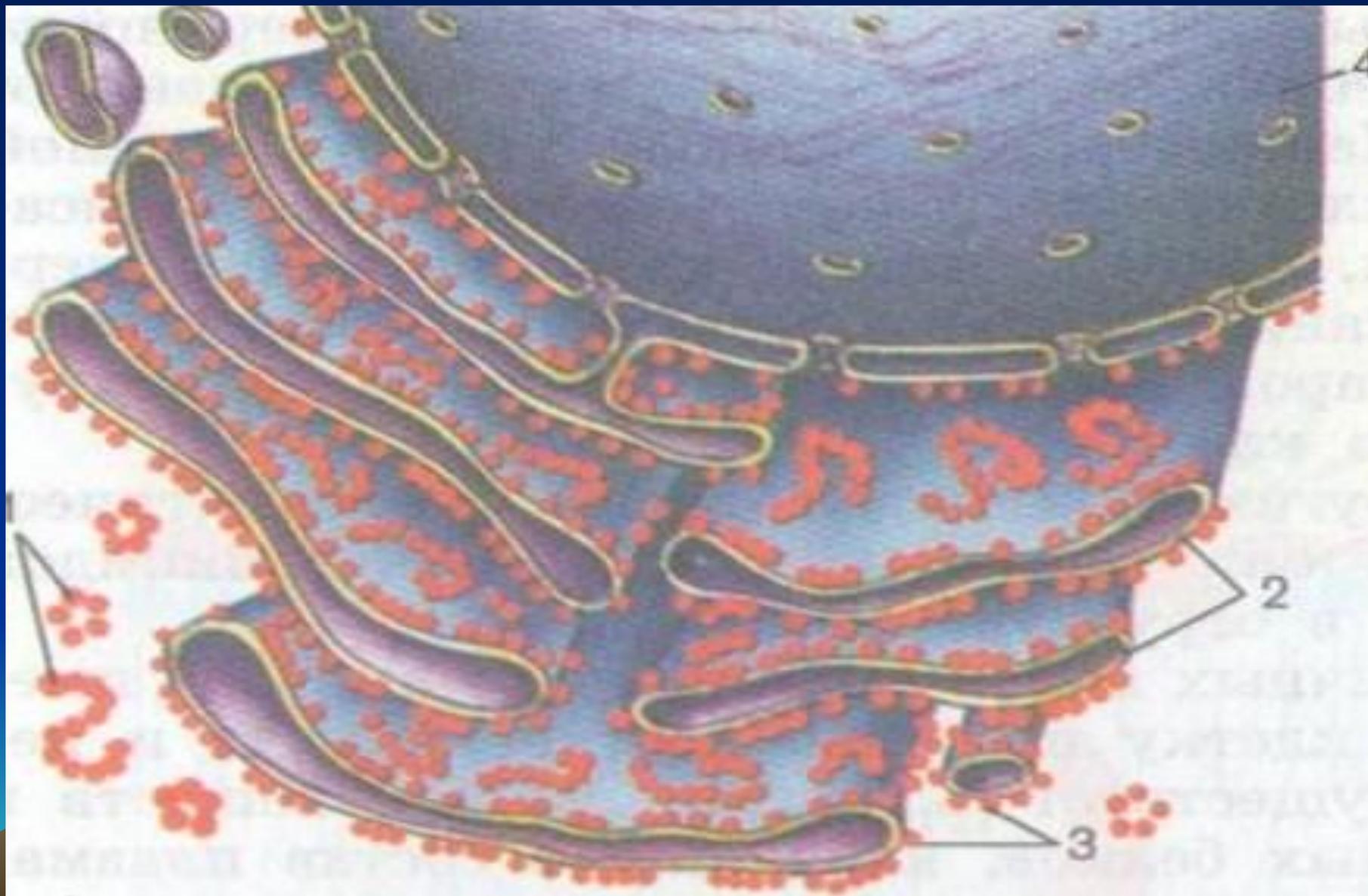


КЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНЕЛЛЫ

- **ЦИТОПЛАЗМА (цитозоль)** – это часть внутриклеточного пространства, которое не занято мембранными образованиями – органеллами. Цитозоль занимает 55% общего объема клетки и представляет собой желеобразную массу, т.к. в ней содержится 20% белков, тысячи белков-ферментов, белки цитоскелета, сложные углеводы (гликоген), капельки жира. В цитозоли протекает большинство реакций промежуточного обмена: распад углеводов (гликолиз) и биосинтез белков на поверхности рибосом, биосинтез углеводов, жирных кислот.
- **ЭНДОПЛАЗМАТИЧЕСКИЙ РЕТИКУЛУМ** (саркоплазматический ретикулум в скелетных мышцах) состоит из многочисленных замкнутых мембранных образований в виде цистерн, трубочек и пластинок, которые разделяют клетки на отдельные отсеки. На ретикулуме протекают процессы синтеза различных липидов и сложных углеводов. На шероховатой поверхности, где располагаются рибосомы, осуществляется биосинтез основных белков клетки. В саркоплазматическом ретикулуме мышц депонируются ионы Ca^{2+} , которые при возбуждении мышц выбрасываются в цитоплазму и запускают процесс сокращения, а при расслаблении с участием фермента Ca^{2+} - АТФ-азы транспортируются снова в ретикулум.
- **ЯДРО** – центр хранения наследственной информации, в нем находится ДНК, в котором содержится генетический код человека. В ядре протекают процессы синтеза рибосом, РНК, некоторых коферментов. Окружено ядро двумя ядерными мембранами, имеющими поры. Ядерные поры обеспечивают избирательный транспорт различных веществ.

СХЕМА СТРОЕНИЯ ЭНДОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ СЕТИ

- 1. Свободные рибосомы; 2. Полости; 3. Рибосомы, прикрепленные к мембранам; 4. Ядерная оболочка.



КЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНЕЛЛЫ

- **МИТОХОНДРИИ** – сложные двухмембранные структуры, в которых протекают процессы биологического окисления питательных веществ с участием кислорода, сопровождающиеся выделением тепловой энергии и образованием химической энергии АТФ.
- **АППАРАТ ГОЛЬДЖИ** или пластический комплекс – это стопка мембранных образований, в которых формируются структуры белков и некоторых других веществ, а также осуществляется их сортировка перед транспортом в разные места клетки.
- **РИБОСОМЫ** – это клеточные органеллы, на которых происходит синтез белков. Каждая рибосома состоит из большой и малой субъединиц, которые после завершения синтеза белка распадаются. Количество рибосом зависит от активности синтеза белка (например: в клетках печени оно составляет 10^7).
- **ЛИЗОСОМЫ** – это мембранные органеллы, в которых содержатся гидролитические ферменты – гидролазы (высокоактивные при $\text{pH}=5,0$). Эти ферменты расщепляют белки, нуклеиновые кислоты, макромолекулы, инородные частицы, бактерии. **Лизосомы принимают участие в регенеративных процессах, обеспечивающих гипертрофию и гиперплазию клеток, что наблюдается в отдельных тканях в процессе спортивной тренировки. При высокой активности гидролаз возможно повреждение лизосомальной мембраны (лизис). Гидролитические ферменты, попадая в цитоплазму, могут привести к гибели клеток. При воздействии больших физических нагрузок наблюдается активация лизосомного аппарата в скелетных мышцах и сердце.**
- **ПЕРОКСИСОМЫ** – это маленькие пузырьки, в которых протекают процессы окисления различных веществ (SH_2) с участием кислорода до перекисей водорода (H_2O_2):
 - $$\text{SH}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{S} + \text{H}_2\text{O}_2$$
 - Эти органеллы обнаружены во всех клетках, в них находится набор ферментов, в том числе каталаза, которые используют H_2O_2 для перекисного окисления различных веществ. В пероксисомах окисляется около половины жирных кислот до ацетил-коА, обезвреживается этанол, метанол и др. вредные вещества.
 - При низких концентрациях окисляемых веществ каталаза расщепляет перекись водорода до воды и кислорода: $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$. Эта реакция является **«СПАСАТЕЛЬНЫМ»** механизмом в клетке, предотвращая накопление сильного окислителя H_2O_2 , способного разрушить клетку. При напряженной мышечной деятельности процессы перекисного окисления веществ усиливаются, что может вызвать неблагоприятные изменения в метаболизме и структурной организации клеток.

СХЕМА СТРОЕНИЯ МИТОХОНДРИИ

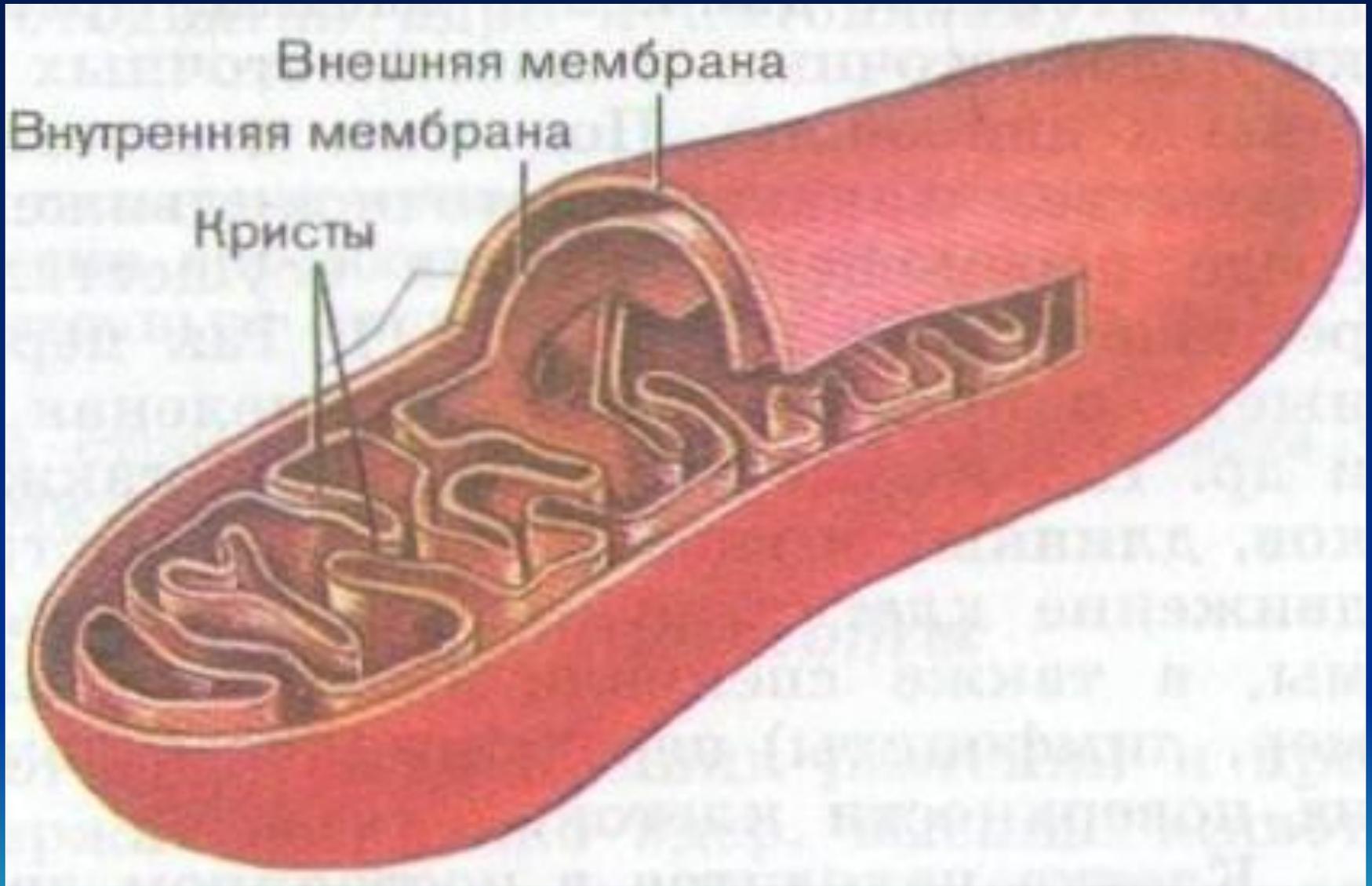


СХЕМА СТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСА ГОЛЬДЖИ

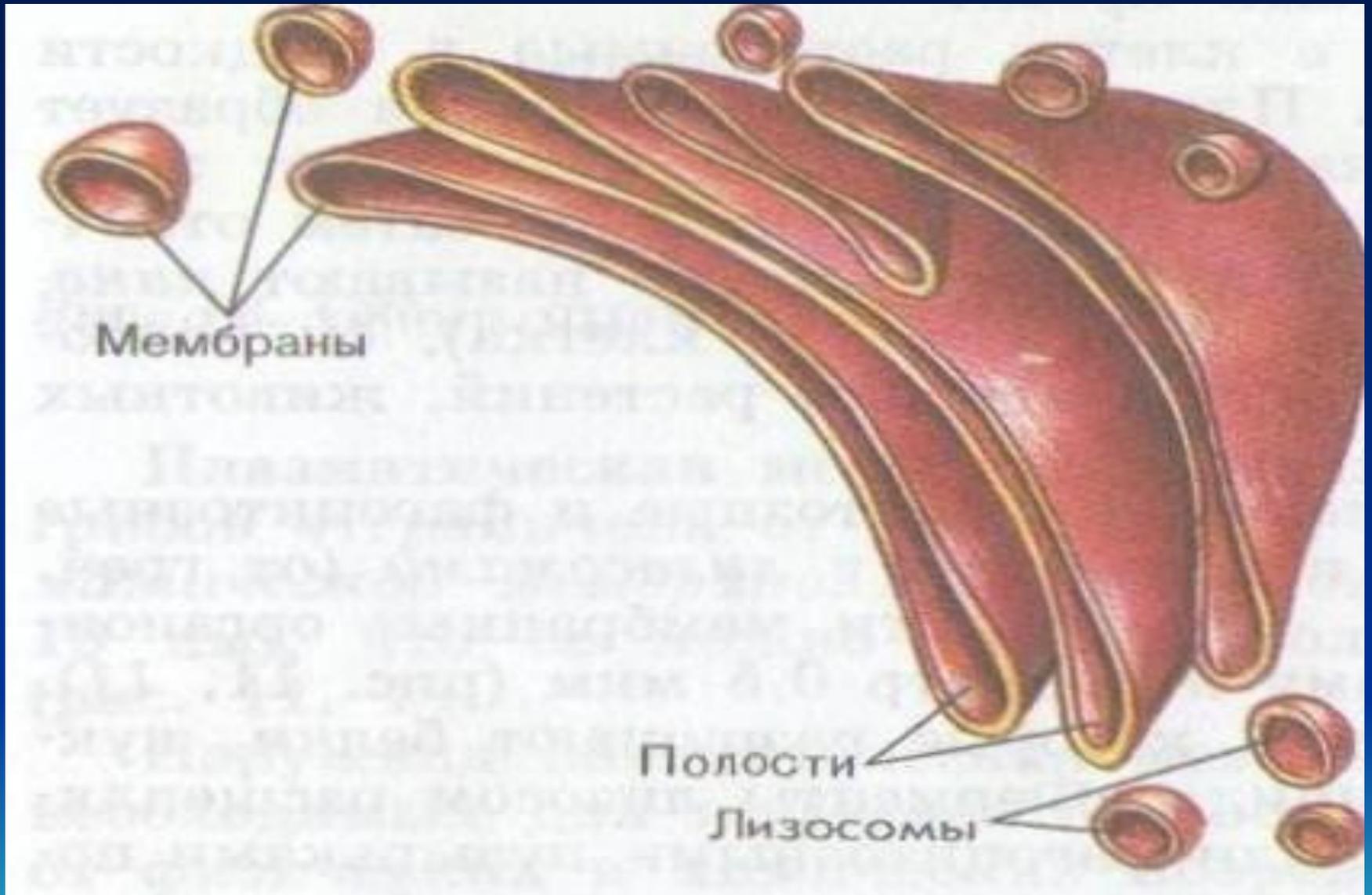
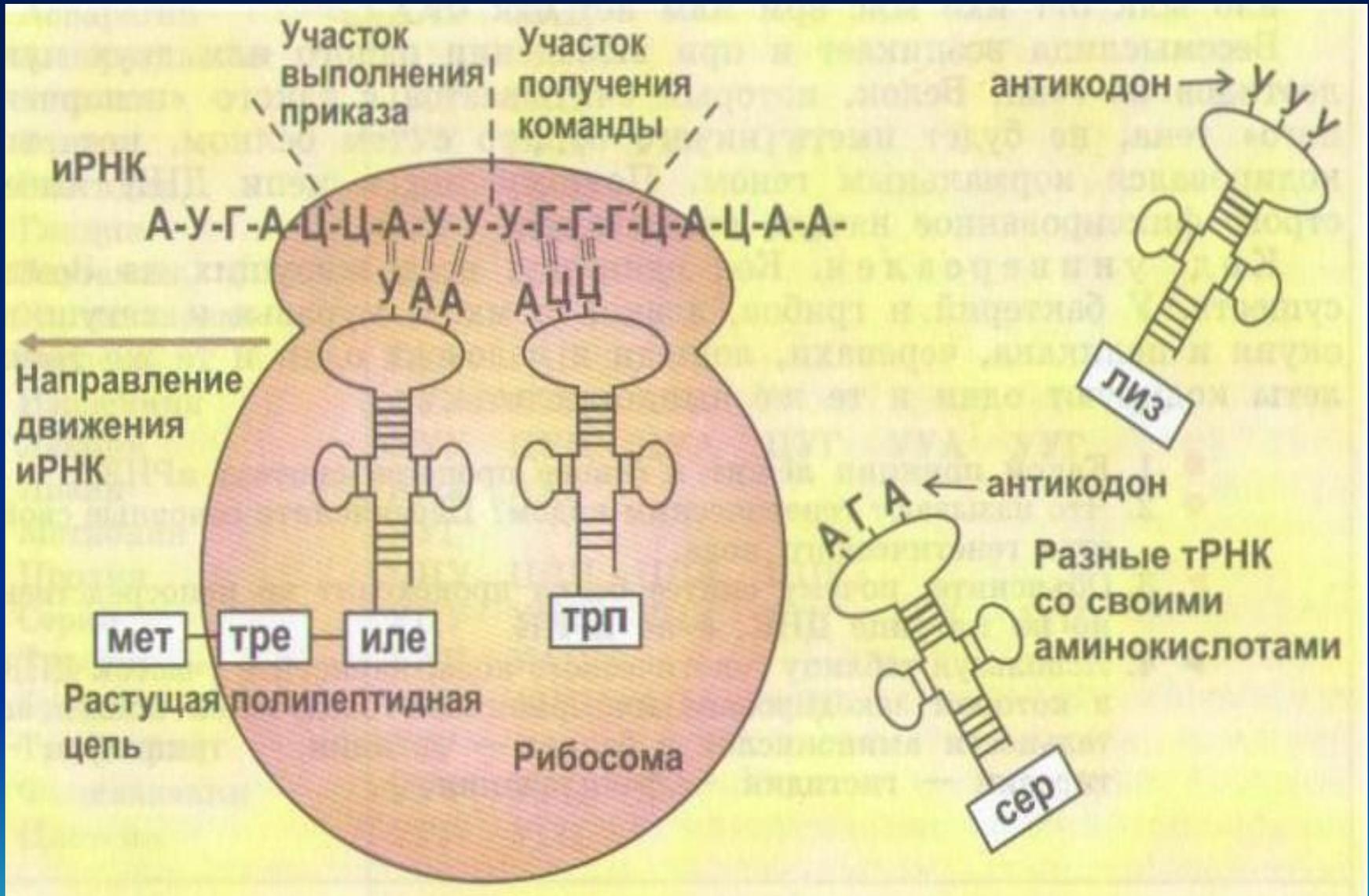
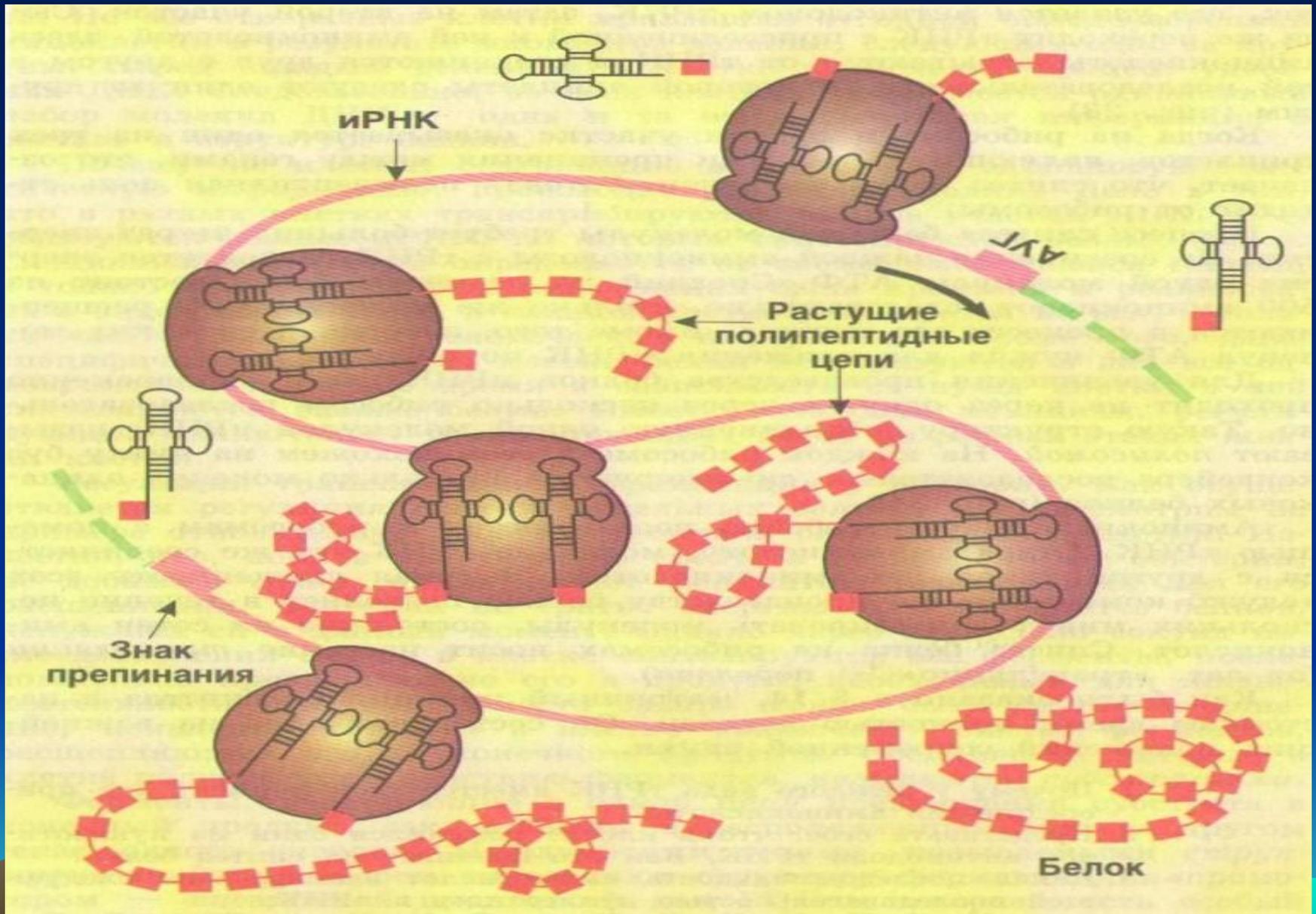


СХЕМА БИОСИНТЕЗА БЕЛКА



СИНТЕЗ БЕЛКОВ НА ПОЛИСОМЕ



РЕГУЛЯЦИЯ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ

- **ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЕ РЕГУЛЯТОРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ** – влияют на активность ферментов и их синтез. Регуляторное воздействие могут оказывать конечные продукты реакции, отдельные метаболиты и энергетические субстраты. Они либо активируют, либо подавляют активность ферментов, что изменяет скорость отдельных биохимических реакций или всего метаболического пути. Например скорость образования АТФ в митохондриях регулируется уровнем ее концентрации в клетке.
- **ГОРМОНАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ** обмена веществ осуществляется специфическими веществами – гормонами. Гормоны регулируют внутриклеточный обмен через вторичные посредники, такие как циклические нуклеотиды, ионы кальция, белки рецепторы и др. Изменение их содержания в клетке также влияет на скорость метаболизма.
- **НЕРВНАЯ СИСТЕМА** – координирует и объединяет все звенья обмена веществ, воздействуя на системы регуляции.
- При адаптации организма к мышечной деятельности совершенствуются регуляторные механизмы обмена веществ, что лежит в основе повышения экономичности выполнения работы.

ОБМЕН ЭНЕРГИИ В ОРГАНИЗМЕ

ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

- В состоянии покоя организм человека использует в сутки 8000 кДж энергии.
- 1700 кДж – расходуется на синтез белков, жиров, углеводов.
- 3700 кДж – расходуется на синтез АТФ
- 1130 кДж - используется для поддержания работы сердца и дыхательных мышц.
- 900 кДж – расходуется на транспорт веществ.
- 21000 кДж x сут. ⁻¹ – энерготраты спортсмена.

Организм человека получает энергию из внешней среды с растительной и животной пищей в виде углеводов, жиров, белков.

Первичный источник энергии для всех живых организмов – **ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА**.

Солнечная энергия накапливается зелеными растениями в органических веществах в процессе их фотосинтеза. Зеленый пигмент растений хлорофилл способен аккумулировать кванты энергии солнечного света ($h\nu$) при синтезе органических веществ из CO_2 и H_2O :



В организме человека энергия химических связей органических веществ извлекается только в процессе катаболического распада и окисления. При этом высвобождается свободная энергия. Например, при окислении глюкозы молекулярным кислородом высвобождается 2880 кДж x моль ⁻¹ свободной энергии:



СХЕМА ФОТОСИНТЕЗА

Схема строения хлоропласта

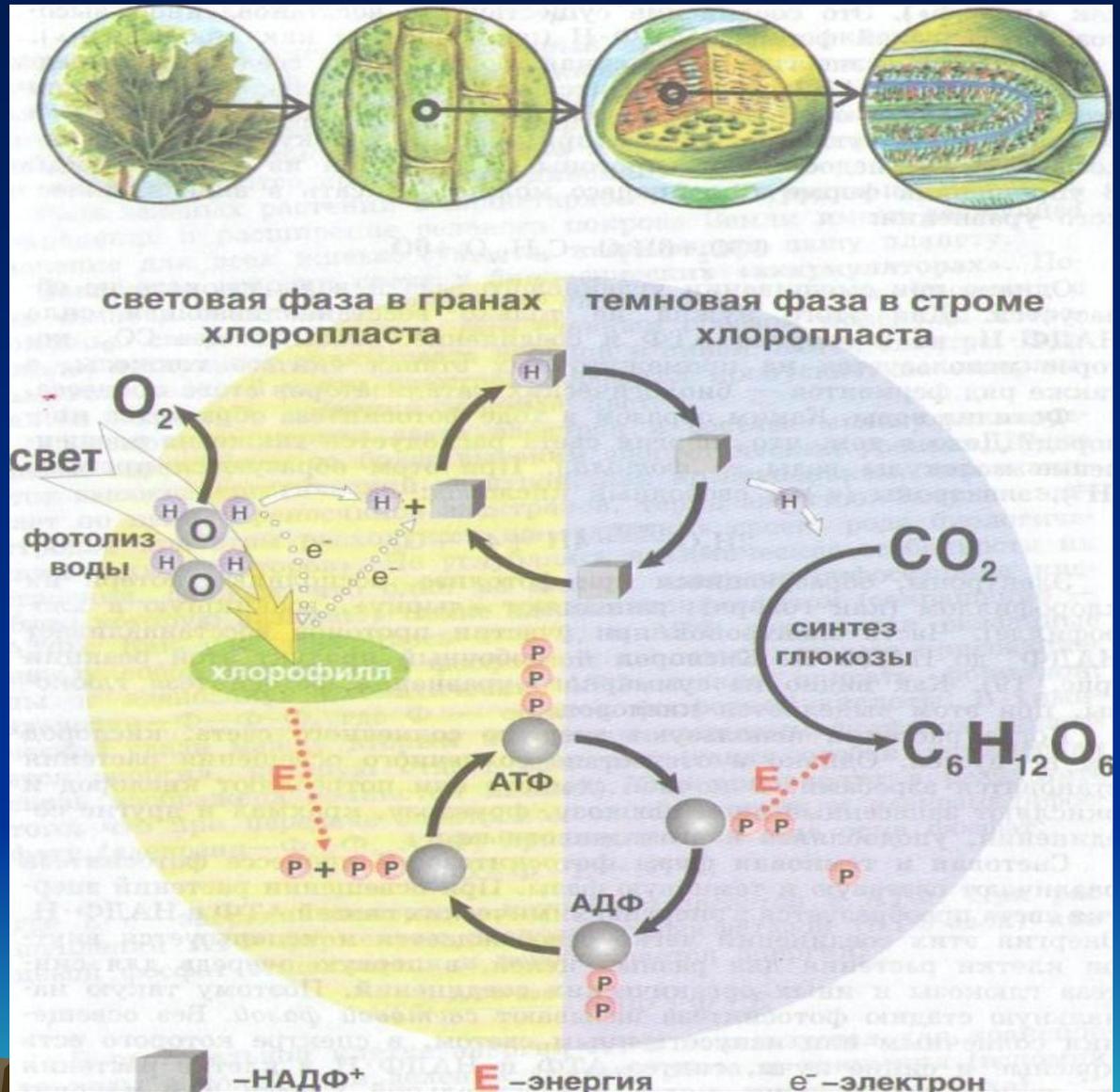
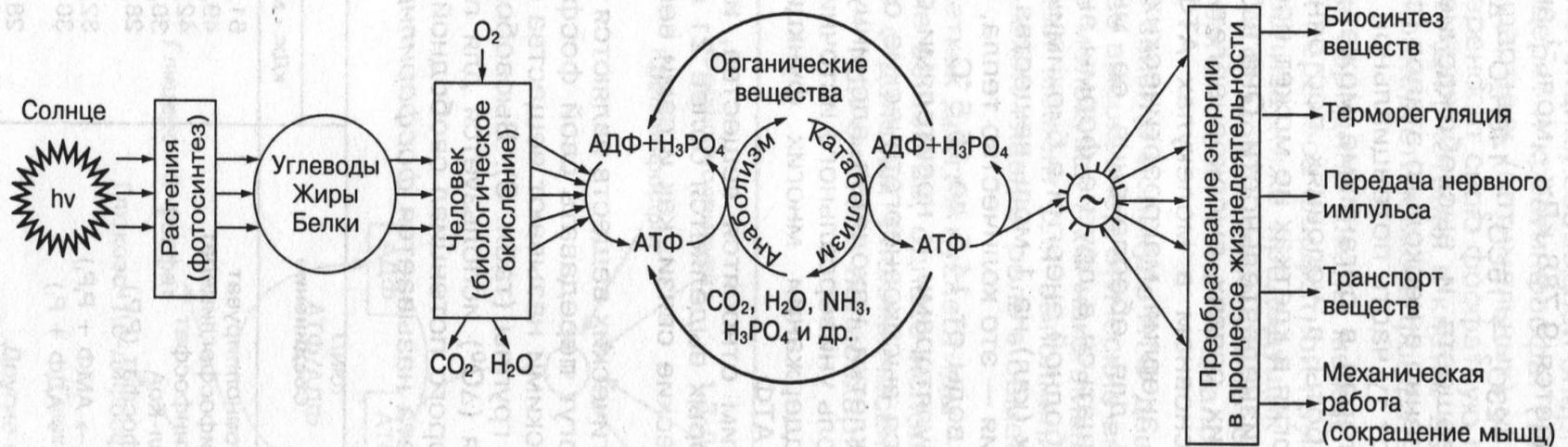


СХЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ



Свободная энергия в клетках не может использоваться непосредственно в жизнедеятельности. Она аккумулируется в химических связях высокоэнергетических (макроэргических) соединений, в основном в молекулах АТФ

АТФ – это универсальный источник энергии в клеточном метаболизме и поддержании многих функций организма. АДФ используется для синтеза АТФ.

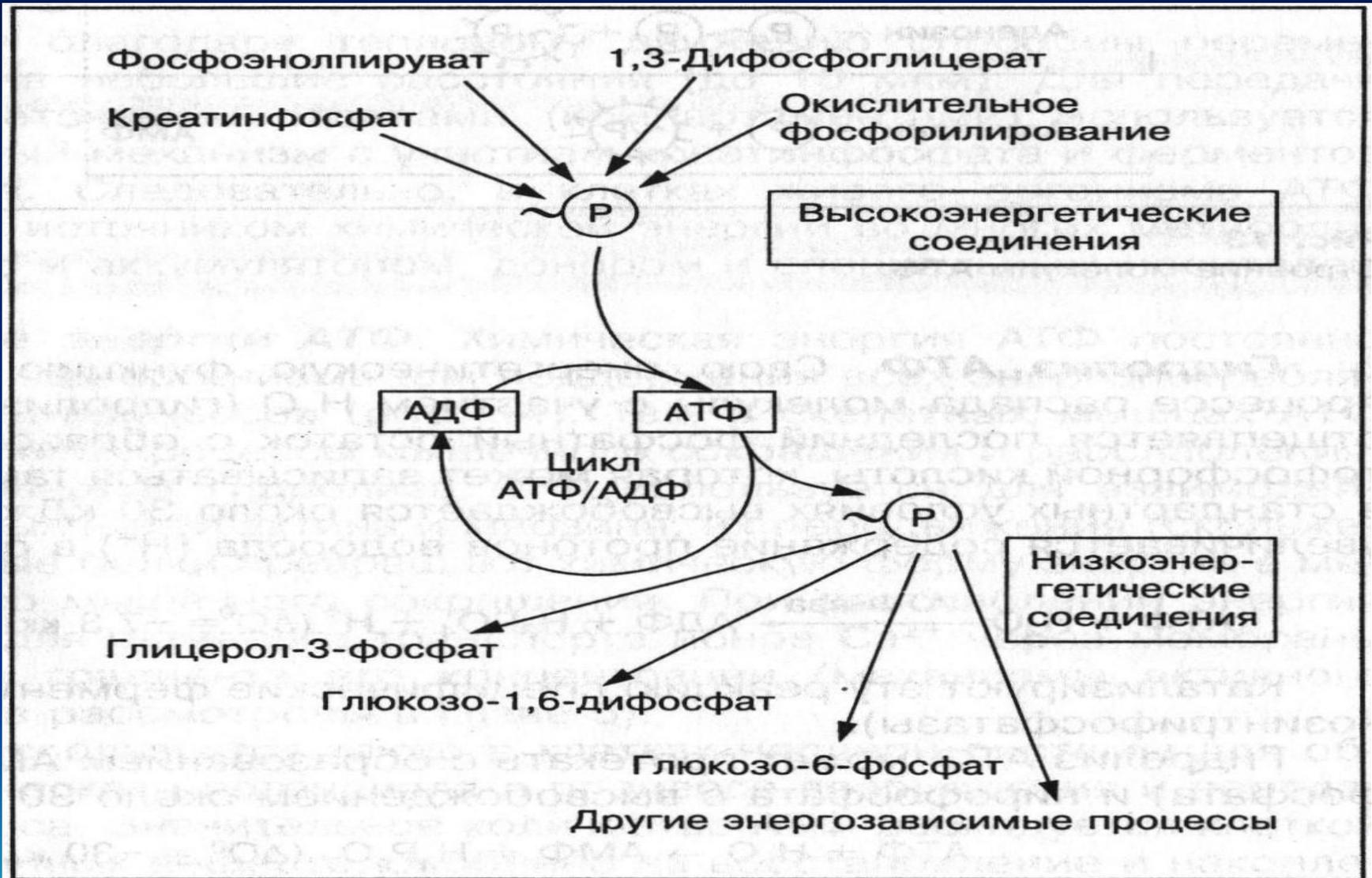
К высокоэнергетическим относятся вещества, имеющие химические связи, при гидролизе которых выделяется более $21 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ свободной энергии. Такие связи называются макроэргическими. Большинство макроэргических веществ являются фосфорорганическими соединениями. Они могут передавать свой фосфат на другие вещества. Поэтому макроэргическими называют вещества с высоким потенциалом переноса фосфатной группы. Высвобождаемая при их гидролизе свободная энергия (ΔQ^0) используется для переноса фосфата на молекулу вещества, у которого потенциал свободной энергии ниже. Реакция присоединения фосфата называется фосфорилированием.

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ОРГАНИЗМА И ВЕЛИЧИНА СТАНДАРТНОЙ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ ИХ ГИДРОЛИЗА ПРИ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ (- дельта Q^0)

Соединение	$-\Delta Q^0$	
	кДж · моль ⁻¹	ккал · моль ⁻¹
Фосфоэнолпируват	61,7	14,8
1,3-Дифосфоглицерат	49,2	11,8
Креатинфосфат	42,5	10,3
Ацетил-КоА	30,4	7,3
Пирофосфат ($P_i P_i$)	28,3	8,0
АТФ (\rightarrow АМФ + $P_i P_i$)	32,2	—
АТФ (\rightarrow АДФ + P_i)	30,4	7,3
АДФ	28,3	7,3
Глюкозо-1-фосфат	24,2	5,0

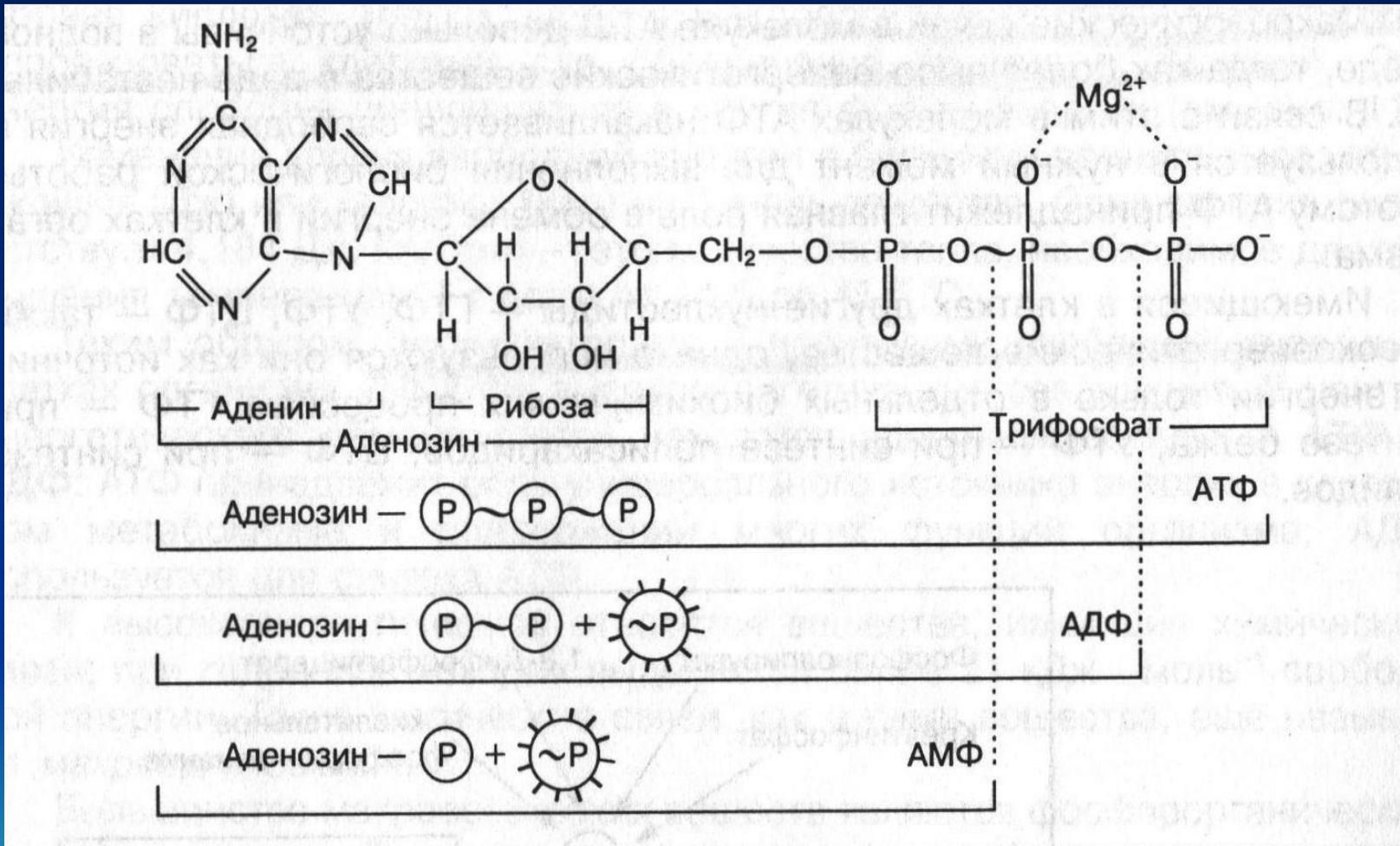
- Самый высокий потенциал свободной энергии имеют фосфоенолпируват, 1,3-дифосфоглицерат и креатинфосфат. Свободная энергия их гидролиза в стандартных условиях достигает 12 ккал. Поэтому они легко переносят свою фосфатную группу на другие вещества (на АДФ), которая в клетке выполняет роль универсального акцептора высокоэнергетического фосфата и используется для образования АТФ.
- АТФ находится в середине шкалы между веществами с высоким и низким потенциалом переноса фосфатной группы. Свободная энергия ее гидролиза – 7-8 ккал. Поэтому АТФ может переносить свой фосфат на вещества с более низким энергетическим потенциалом, например на глюкозу.
- **Макроэргические связи АТФ довольно устойчивы в водной среде, тогда как более высокоэнергетические вещества в воде нестабильны.** В связи с этим в молекулах АТФ накапливается свободная энергия и используется в нужный момент для выполнения биологической работы. Поэтому АТФ принадлежит главная роль в обмене энергии в клетках организма.
- Имеющиеся в клетке другие нуклеотиды - ГТФ, УТФ, ЦТФ – также высокоэнергетические вещества, однако используются они как источники энергии только в отдельных биохимических процессах: ГТФ – при синтезе белка, УТФ – при синтезе полисахаридов, ЦТФ – при синтезе липидов.

РОЛЬ ЦИКЛА АТФ ←---□ АДФ В ОБМЕНЕ ЭНЕРГИИ В КЛЕТКАХ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА



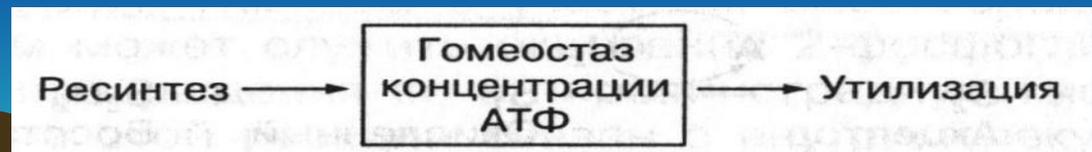
АТФ – универсальный источник энергии в организме

- АТФ – аденозинтрифосфорная кислота является нуклеотидом.
- АТФ состоит из азотистого основания – аденина, углевода – рибозы, 3х остатков H_3PO_4

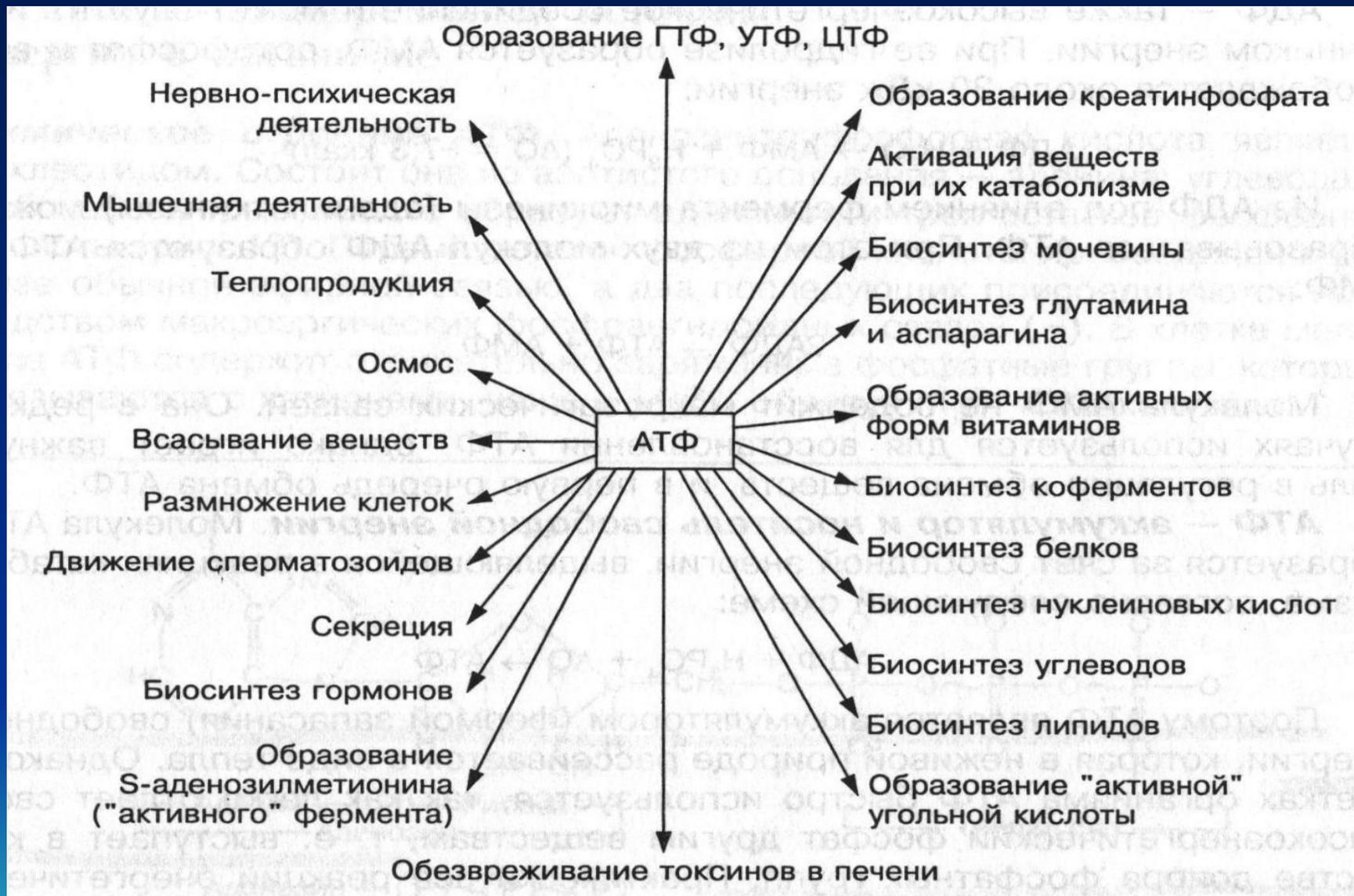


АТФ – аккумулятор и носитель свободной энергии

- Молекула АТФ образуется за счет свободной энергии, выделяющейся в реакциях катаболизма:
 - $\text{АДФ} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{Q} \rightarrow \text{АТФ}$
- Поэтому АТФ является аккумулятором (форма запасания) свободной энергии.
- АТФ – донор фосфатных групп, т.к. в клетках отдает высокоэнергетический фосфат другим веществам
- Практически все реакции энергетического обмена в клетках организма протекают посредством образования и распада молекул АТФ.
- Молекулы АТФ благодаря тепловому движению способны перемещаться в клетках на небольшие расстояния (до 10 мкм).
- Количество АТФ в тканях организма человека относительно невелико, поскольку она не запасается в тканях.
- В скелетных мышцах содержится 5 ммоль \times кг⁻¹ сырой ткани или 25 ммоль \times кг⁻¹ сухой мышечной ткани.
- В сердечной мышце и гладких мышцах АТФ составляет 2,6 и 1,4 ммоль \times кг⁻¹ сырой ткани.
- Всего в организме человека содержится около 50 г АТФ.
- Существенного снижения уровня АТФ в клетках не отмечается, так как АТФ быстро восстанавливается. Даже при напряженной мышечной деятельности, вызывающей утомление, запасы АТФ в мышцах могут снижаться только в течение нескольких секунд на 20-25%.
- При увеличении скорости использования АТФ автоматически активизируется механизм ее образования:



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ АТФ В ОРГАНИЗМЕ



БИОХИМИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРОЦЕССОВ АДАПТАЦИИ

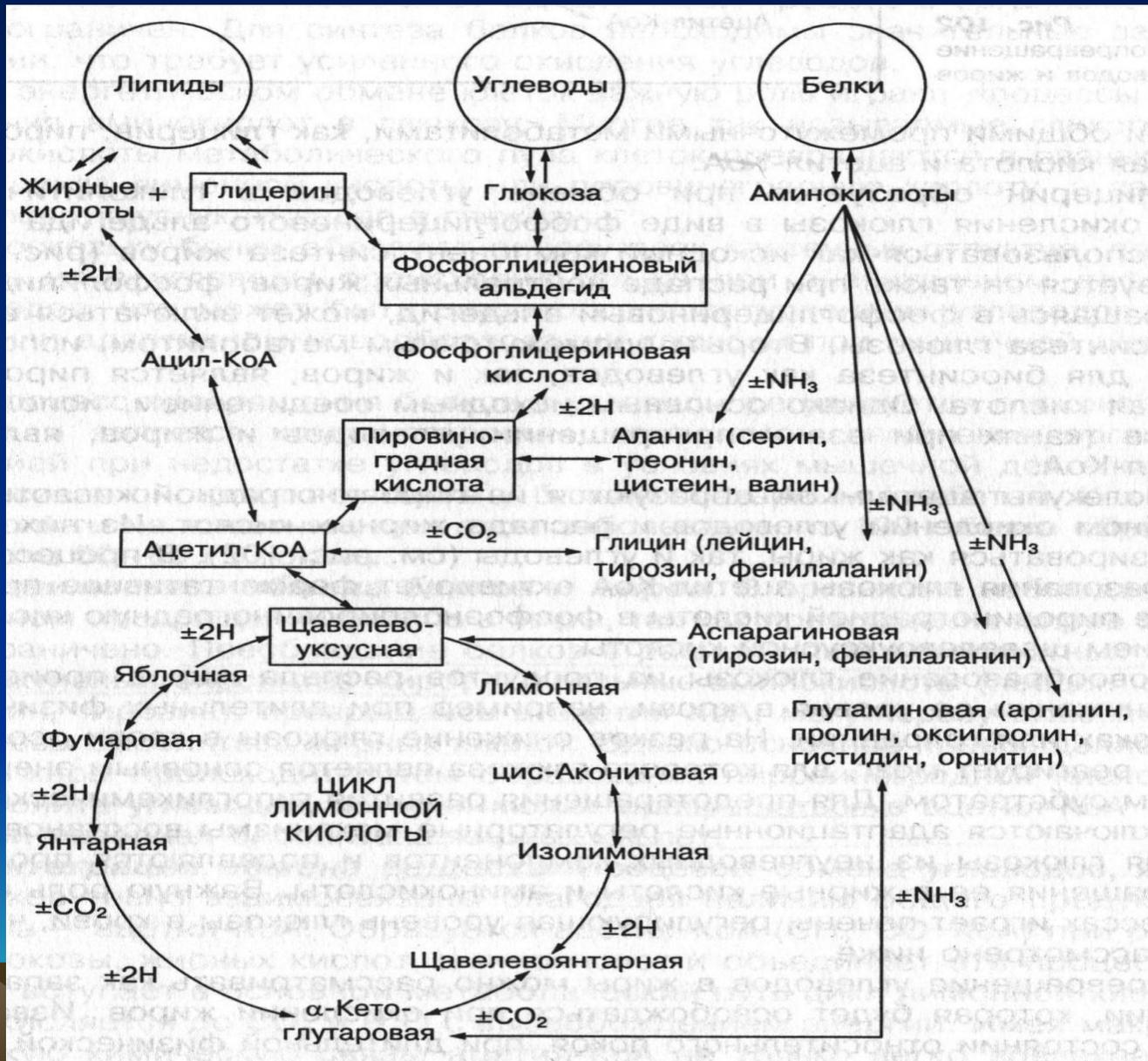
- **ГОМЕОСТАЗ** – это постоянство внутренней среды организма.
- ГОМЕОСТАЗ – обеспечивается четкой сбалансированностью различных звеньев обмена веществ и в первую очередь энергетического обмена.
- Клетки используют энергию АТФ, поэтому в каждый момент их существования многочисленные реакции биологического окисления протекают со скоростью, необходимой для удовлетворения потребностей в АТФ.
- Для сохранения **ХИМИЧЕСКОГО ГОМЕОСТАЗА** при мышечной деятельности существуют механизмы переключения использования отдельных энергетических субстратов и быстрой мобилизации одних соединений для восстановления других.
- Адаптационные изменения в обмене веществ возможны благодаря наличию трех координирующих факторов:
 1. **Взаимопревращению углеводов, жиров и белков**
 2. **Интеграции между отдельными звеньями обмена**
 3. **Наличия нескольких систем регуляции обмена веществ.**



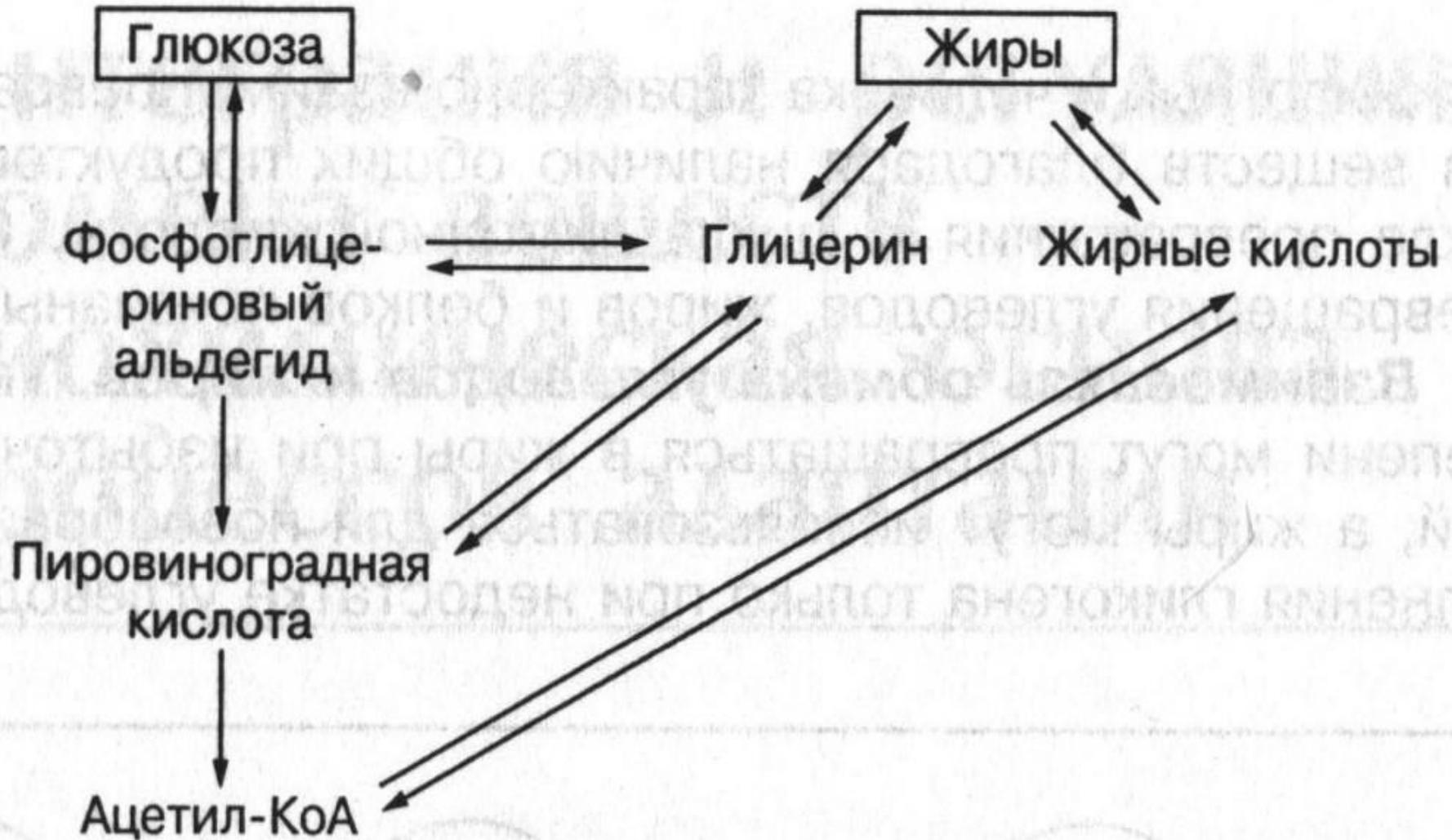
ВЗАИМОПРЕВРАЩЕНИЯ УГЛЕВОДОВ, ЖИРОВ И БЕЛКОВ

- Для животных и человека характерно взаимопревращение отдельных классов веществ благодаря наличию общих продуктов их обмена и единого цикла превращения – цикла лимонной кислоты.
- Углеводы могут превращаться в жиры при избыточном потреблении с пищей, а жиры могут использоваться для новообразования глюкозы и восполнения гликогена только при недостатке углеводов. Их обмены связаны общими промежуточными метаболитами – **ГЛИЦЕРИН, ПИРОВИНОГРАДНАЯ КИСЛОТА, АЦЕТИЛ-КоА.**
- Основным исходным соединением, используемым в тканях при взаимопревращении углеводов и жиров, является **АЦЕТИЛ-КоА.**
- Молекулы Ацетил-коА образуются из пировиноградной кислоты при **АЭРОБНОМ ОКИСЛЕНИИ УГЛЕВОДОВ И РАСПАДЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ.**
- В процессе новообразования глюкозы ацетил-КоА активирует ферментное превращение пировиноградной кислоты в фосфоэнолпировиноградную кислоту с участием щавелевоуксусной кислоты.
- Новообразование глюкозы из продуктов распада жиров происходит при снижении ее уровня в крови (при длительных физических нагрузках или голодании). На резкое снижение глюкозы в крови особенно остро реагирует мозг, для которого глюкоза является основным энергетическим субстратом.
- Для предотвращения развития гипогликемической комы включаются адаптационные регуляторные механизмы восстановления уровня глюкозы из неуглеводных компонентов и подавляются процессы превращения ее в жирные кислоты и аминокислоты.
- Превращение углеводов в жиры - это запасание энергии, которая будет освобождаться при окислении жиров. В состоянии относительного покоя, при длительной физической работе, голодании – в печени, в скелетных мышцах и сердце важными энергетическими субстратами являются свободные жирные кислоты и кетоновые тела. При этом используются продукты распада жирных кислот – кетоновые тела, которые образуются в печени, а утилизируются в мышцах и других тканях, в том числе и в мозге при длительном голодании.

СХЕМА ВЗАИМОПРЕВРАЩЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЗВЕНЬЕВ ЖИРОВ, БЕЛКОВ, УГЛЕВОДОВ.



ВЗАИМОПРЕВРАЩЕНИЕ УГЛЕВОДОВ И ЖИРОВ



ВЗАИМОСВЯЗЬ ОБМЕНА УГЛЕВОДОВ И БЕЛКОВ

- Углеводы могут превращаться в белки, так как в процессе распада углеводов образуются кетокислоты и щавелевоуксусная кислота, которые могут подвергаться восстановительному аминированию (присоединение NH_3) и превращаться в аминокислоты – аланин, аспаргиновую и глутаминовую кислоты, используемые для синтеза белка. Однако такой процесс в организме человека ограничен.
- Для синтеза белков необходимы значительные затраты энергии, что требует усиленного окисления углеводов.
- Гликогенные аминокислоты (аланин, аспаргиновая и глутаминовые кислоты) метаболического пула клеток превращаются в разные кислоты цикла лимонной кислоты или пировиноградную кислоту, затем в щавелевоуксусную и далее в глюкозу.
- Превращение белков в углеводы происходит только при значительном дефиците углеводов.
- Процесс превращения белков в углеводы регулируется глюкокортикоидами и является компенсаторным механизмом снабжения организма энергией при недостатке углеводов в условиях мышечной деятельности. Интенсивно он протекает также у больных сахарным диабетом. Как показали опыты на животных, при этом заболевании из 100 г белка образуется около 50-80 г глюкозы.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ОБМЕНА ЖИРОВ И УГЛЕВОДОВ

- В организме наблюдается в основном превращение белков в жиры, так как превращение жиров в белки ограничено.
- Преобладание белков в рационе питания животных вызывает активный биосинтез жиров. Отдельные аминокислоты (лейцин, фенилаланин, тирозин), превращаясь в ацетил-КоА, могут сразу включаться в процессе биосинтеза жирных кислот. Однако основное превращение белков в жиры происходит путем образования пировиноградной кислоты – метаболита углеводов, которая может превращаться в ацетил-КоА – исходный материал биосинтеза жирных кислот.

ИНТЕГРАЦИЯ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ

1. Процессы обмена углеводов, жиров и белков тесно взаимосвязаны благодаря наличию общего продукта их обмена – **ацетил-КоА**.
2. Образуется **ацетил-КоА (CH₃-CO-КоА)** при распаде глюкозы, жирных кислот, аминокислот и объединяет эти процессы, а затем вступает в основной метаболический путь – цикл лимонной кислоты, где окисляется до CO₂ и H₂O с высвобождением энергии.
3. Имея макроэргическую химическую связь, **ацетил-КоА** не только легко вовлекается в процесс окисления в указанном цикле, но и используется как строительный материал при биосинтезе различных веществ.
4. **Ацетил-КоА** используется в тканях для биосинтеза жирных кислот, образования кетоновых тел в печени, синтеза стероидов, взаимопревращения различных классов веществ.
5. **Ацетил-КоА** принадлежит главная роль в интеграции обмена углеводов, жиров и белков. Образуясь в цитоплазме клетки, он проникает в митохондрии, объединяет цитоплазматические и внутримитохондриальные процессы метаболизма, а также различные процессы катаболизма углеводов, жиров и белков, создает субстраты для процессов новообразования глюкозы, аминокислот и биосинтеза жирных кислот.
6. Взаимопревращение углеводов, белков и жиров, интеграция их обмена позволяет организму независимо от поступления продуктов питания создать энергетический запас в клетках, обеспечить своевременное самообновление и приспособление к условиям внешней и внутренней среды.



РЕГУЛЯТОРНЫЕ СИСТЕМЫ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И ИХ РОЛЬ В АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

- Скорость обмена веществ в организме человека определяется наследственными факторами и регулируется разными наследственными системами. Три основные формы регуляции обмена веществ: 1. Внутриклеточная, 2. Гормональная, 3. Нервная.
 - **ВНУТРИКЛЕТОЧНАЯ СИСТЕМА РЕГУЛЯЦИИ**
- Обмен веществ на клеточном и субклеточном уровнях регулируется путем изменения активности ферментов клетки или изменения их количества.
- На активность ферментов влияют следующие факторы:
 1. Концентрация субстрата и кофермента.
 2. Наличие активаторов и ингибиторов
 3. Величина рН среды
 4. Температура
 5. Водная среда
 6. Состояние биологических мембран
 7. Химическая модификация структуры фермента путем фосфорилирования
 8. Протеолизом и др.

СХЕМА РЕГУЛЯЦИИ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ



- Наиболее простым регуляторным воздействием является концентрация субстрата и кофермента. Если фермент функционирует в области полунасыщения субстрата, то даже незначительные изменения в его концентрации могут привести к существенному изменению скорости биохимической реакции.
- Изменение концентрации коферментов НАД, НАДФ, ФАД, КоА, а также витаминов, входящих в их состав, тоже влияет на скорость ферментативных реакций.
- Быстрой регуляцией является аллостерическая регуляция активности ферментов, воздействующих на аллостерический центр фермента и изменяющих их конформацию. Как правило, такой фермент расположен в начале метаболического пути. Пример: ключевой фермент гликолиза – фосфофруктокиназа (ФФК), имеющий 10 аллостерических регуляторов, от взаимодействия с которыми изменяется его активность. Это АТФ, АДФ, АМФ, лимонная кислота, жирные кислоты, рН и другие факторы. В состоянии относительного покоя ФФК в скелетных мышцах не активна, так как ингибируется высокими концентрациями АТФ и лимонной кислоты. При интенсивной мышечной деятельности концентрация АТФ снижается, а концентрация АДФ и АМФ повышается. Это активирует ФФК и скорость гликолиза. Когда баланс АТФ в мышцах восстанавливается, что происходит при улучшении снабжения кислородом, активность ФФК снижается и скорость гликолиза падает. Мышцы переключаются на аэробный механизм энергообеспечения с постепенным переходом на утилизацию жиров.
- Одним из распространенных способов регуляции активности ферментов являются модификации молекул ферментного белка путем фосфорилирования – дефосфорилирования, протеолизного отщепления части белка либо другими воздействиями. Путем фосфорилирования с участием АТФ и Mg^{2+} , а также дефосфорилирования, катализируемого ферментами (фосфатазой), регулируется активность тканевых липаз, расщепляющих нейтральные жиры и фосфорилазы, расщепляющий гликоген.

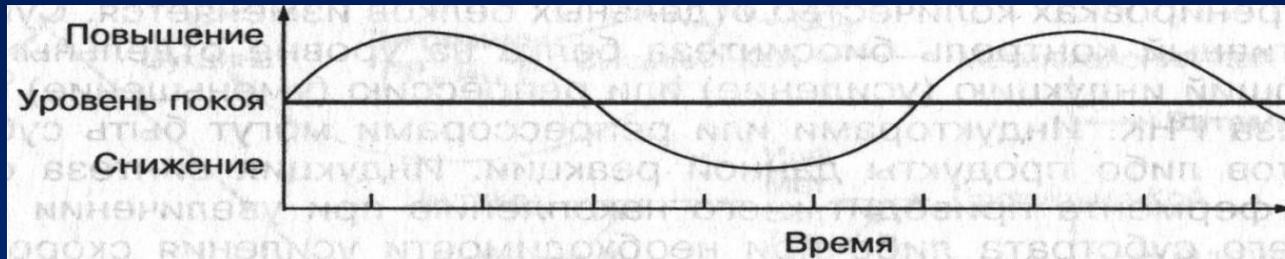
ВЛИЯНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ВИТАМИНОВ НА МЕТАБОЛИЗМ УГЛЕВОДОВ, ЖИРОВ, АМИНОКИСЛОТ

• РЕГУЛЯЦИЯ СИНТЕЗА ФЕРМЕНТОВ

- В живых клетках на уровне генетического аппарата запрограммировано относительное постоянство количества белков .
- При изменении питания, длительном голодании, спортивных тренировках количество отдельных белков изменяется.
- Существует адаптивный контроль биосинтеза белка на уровне отдельных генов, вызывающих индукцию (усиление) или репрессию (уменьшение) скорости синтеза РНК. Индукторами или репрессорами могут быть субстраты ферментов либо продукты данной реакции
- Регуляция синтеза ферментов на уровне генетического аппарата клетки может привести к увеличению или уменьшению количества фермента, изменению ферментного состава в клетке, появлению новых изоформ ферментов. Такая регуляция осуществляется сравнительно медленно – от нескольких часов до нескольких дней – это «грубая» регуляция обмена веществ. Она играет основную роль в долговременной адаптации метаболизма организма к физическим нагрузкам.
- Многие наследственные нарушения метаболизма связаны с изменением генов (мутации), кодирующих синтез ферментов. Это приводит к изменению количества и активности фермента, что вызывает изменение скорости обменных реакций, накопление продуктов обмена или субстрата и развитие определенного заболевания.
- В индукции адаптивного синтеза белка при мышечной деятельности и тренировке большую роль играет дефицит АТФ и креатинфосфата, а также гормоны: глюкокортикостероиды, тироксин, соматотропин и андрогены, которым свойственно приспособительное анаболическое действие. Как показано в работах А.А.Виру регуляторное воздействие этих гормонов на активность генома и процессы синтеза белка лежит в основе обеспечения перехода срочных адаптивных реакций в организме спортсмена в долговременную адаптацию.

ГОРМОНАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ

Эндокринная железа отвечает на различные воздействия увеличением или снижением выброса гормонов в кровь относительно его стационарного уровня.



При мышечной деятельности уровень отдельных гормонов может изменяться разнонаправленно в зависимости от интенсивности физических нагрузок и функционального состояния организма.

При напряженной мышечной деятельности активность многих эндокринных желез увеличивается, особенно тех, гормоны которых регулируют мобилизацию, окисление и восстановление энергетических источников. Повышается концентрация норадреналина, адреналина, глюкагона, глюкокортикостероидов, соматотропного гормона в крови. Концентрация инсулина чаще снижается.



Снижение концентрации инсулина при физических нагрузках уменьшает поступление глюкозы в ткани и способствует увеличению ее уровня в крови, а повышение концентрации гормонов — антагонистов инсулина (глюкагона, адреналина, кортизола, соматотропина) увеличивает уровень глюкозы за счет мобилизации ее из печени или активации глюконеогенеза.

Участие гормонов гипофиза и надпочечников при адаптации к физнагрузкам

- Согласно теории Г.Селье, в адаптации организма к стрессовым факторам, в том числе к напряженной мышечной деятельности, наиболее важную роль играют гормоны гипофиза и надпочечников. Развитие общего адаптационного синдрома контролируется гипоталамусом.
- **Гипоталамус** интегрирует информацию, полученную из всех частей тела и запускает механизм поддержания относительного метаболического состояния.
- В первую очередь усиливается секреция катехоламинов: адреналина и норадреналина мозговым слоем надпочечников. Они активируют:
 1. Распад гликогена в печени.
 2. Повышают уровень глюкозы в крови
 3. Активируют распад жиров
 4. Мобилизуют энергетические резервы организма и улучшают энергообеспечение органов и тканей.
 5. Усиливается синтез АКТГ в гипофизе
 6. Активируется синтез глюкокортикостероидов (кортизола) в коре надпочечников.

Кортизол запускает:

1. Реакции адаптивного синтеза ферментов.
2. Активирует процессы новообразования глюкозы в печени из веществ неуглеводной природы
3. Мобилизация жиров.
4. Снижение синтеза белков в тканях, что ведет к повышению уровня аминокислот.
5. Поддержание высокой скорости энергообразования.

Адреналин и кортикостероиды при стрессе работают однонаправленно и обеспечивают большую скорость катаболизма мобилизованных энергетических источников.

Гормональная адаптация организма к стрессу



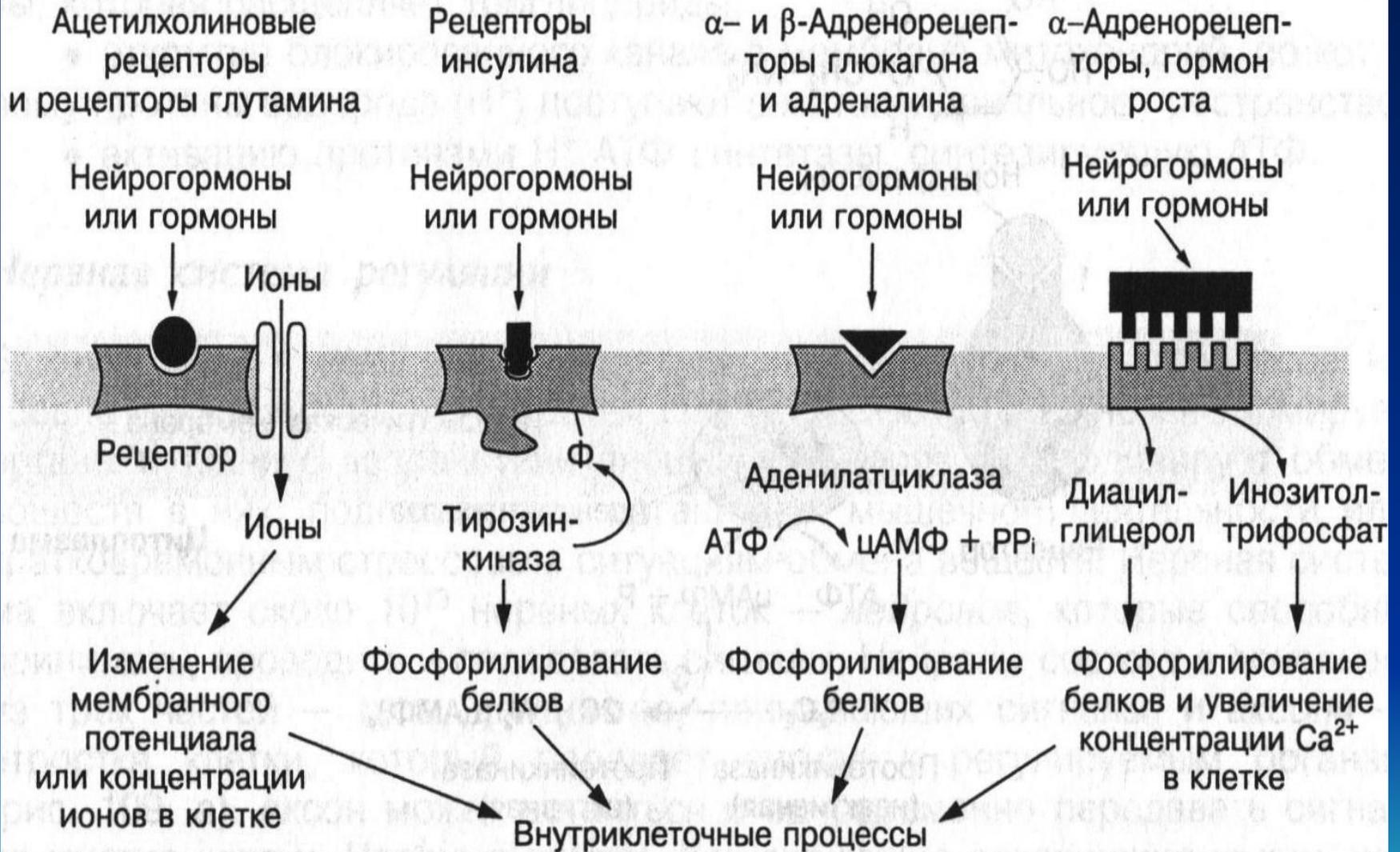
- Гормон роста усиливает общий белковый синтез, что приводит к гипертрофии надпочечников, а при систематических физических нагрузках к гипертрофии скелетных мышц, миокарда.
- Повышение концентрации катехоламинов и глюкокортикостероидов в крови при длительных физических нагрузках способствует повышению работоспособности.
- Повышается уровень вазопрессина, который регулирует водно-солевой обмен, уменьшая объем выделяемой мочи и увеличивая объем плазмы крови, что важно для поддержания давления крови и функции ССС.
- У спортсменов, специализирующихся в видах спорта, требующих проявления выносливости, не отмечается значительного увеличения в крови концентрации адреналина, глюкагона, соматотропина и кортизола, а концентрация инсулина снижается в меньшей степени. Такая приспособляемость организма формируется быстро (в течение нескольких недель) и сохраняется после пяти недель детренировки.

Связывание гормона с рецептором, расположенным на внешней стороне плазматической мембраны клетки, может приводить к различным конформационным изменениям в мембране:

1. Открытие ионных каналов в нервных и мышечных тканях, изменение мембранного потенциала и уровня ионов в клетке.
2. Активация фермента тирозинкиназы под воздействием инсулина, которая усиливает синтез белка и процессы фосфорилирования ферментов.
3. Активация аденилатциклазы, катализирующей синтез цАМФ и связанные с цАМФ процессы.
4. Образование инозитолтрифосфата или диацетилглицерина, которые регулируют скорость процессов фосфорилирования или уровень свободного кальция в клетке.



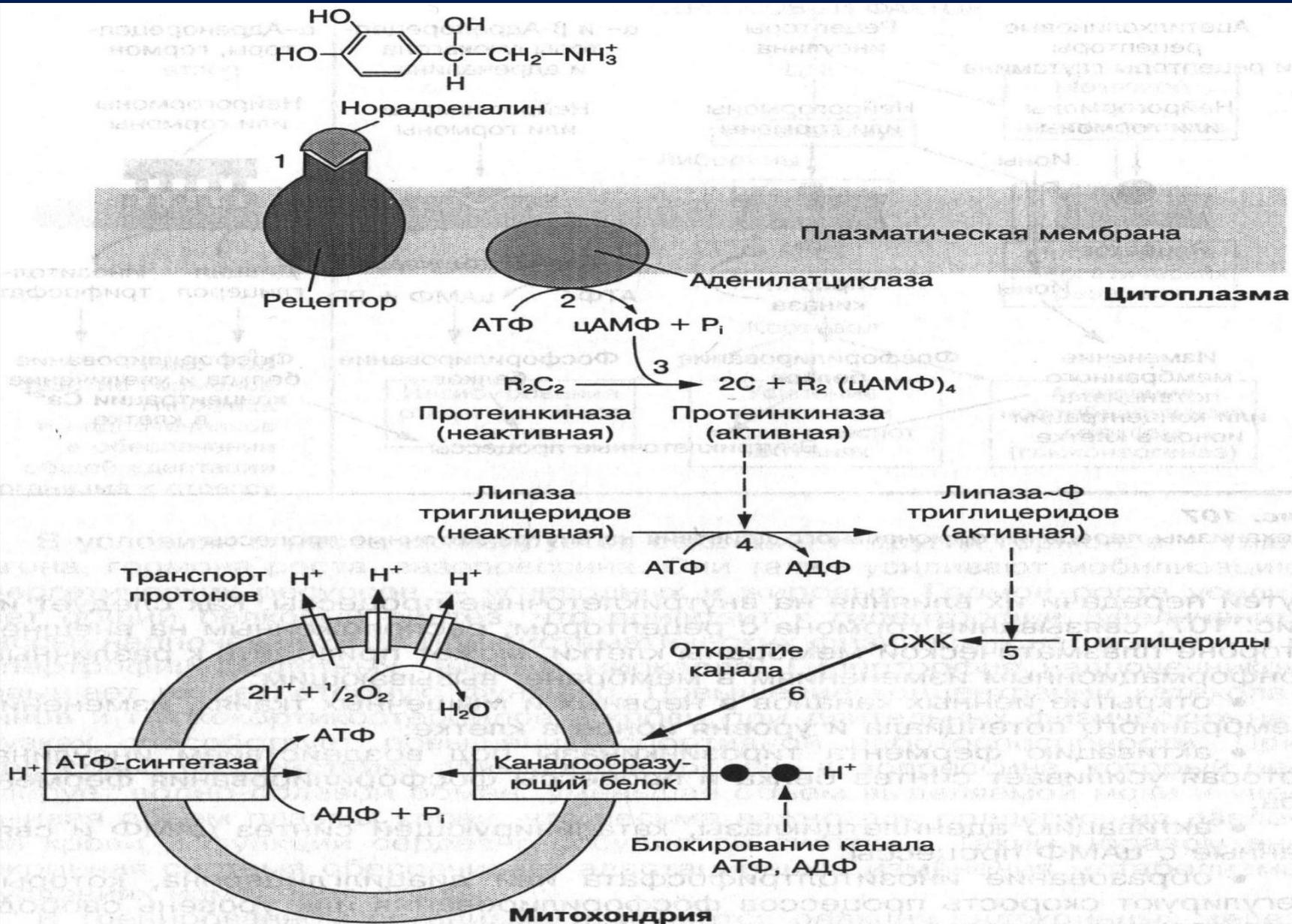
МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕДАЧИ ГОРМОНАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ НА ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ



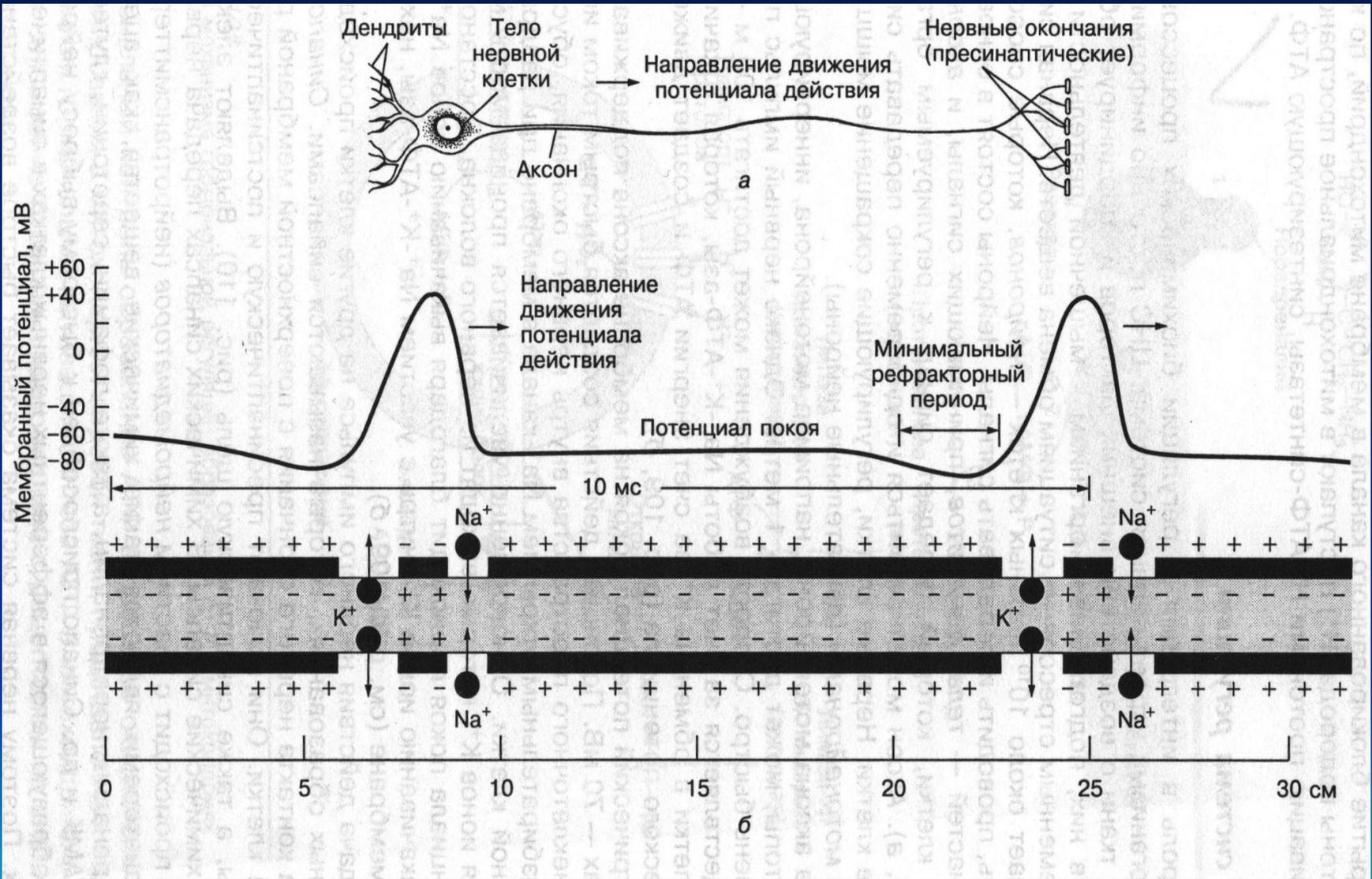
- При адаптации к физическим нагрузкам гормональная система становится более экономичной, что создает условия для экономного использования энергетических ресурсов и более эффективного энергообеспечения мышечной деятельности.
- Механизмы гормонального контроля внутриклеточных процессов сложные, о чем свидетельствует раскрытый в последнее время гормональный контроль образования АТФ в процессе окислительного фосфорилирования в митохондриях жировой ткани. Механизм включает:
 - 1. Связывание гормона норадреналина с рецептором на внешней мембране клетки.
 - Связывание цАМФ с цАМФ-зависимой протеинкиназой и ее активацию.
 - цАМФ-зависимое фосфорилирование гормоночувствительной липазы, которая расщепляет триглицериды.
 - Открытие заблокированного канала в мембране митохондрий, по которому протоны водорода (H^+) поступают в митохондриальное пространство.
 - Активация протонами H^+ АТФ-синтетазы, синтезирующую АТФ.



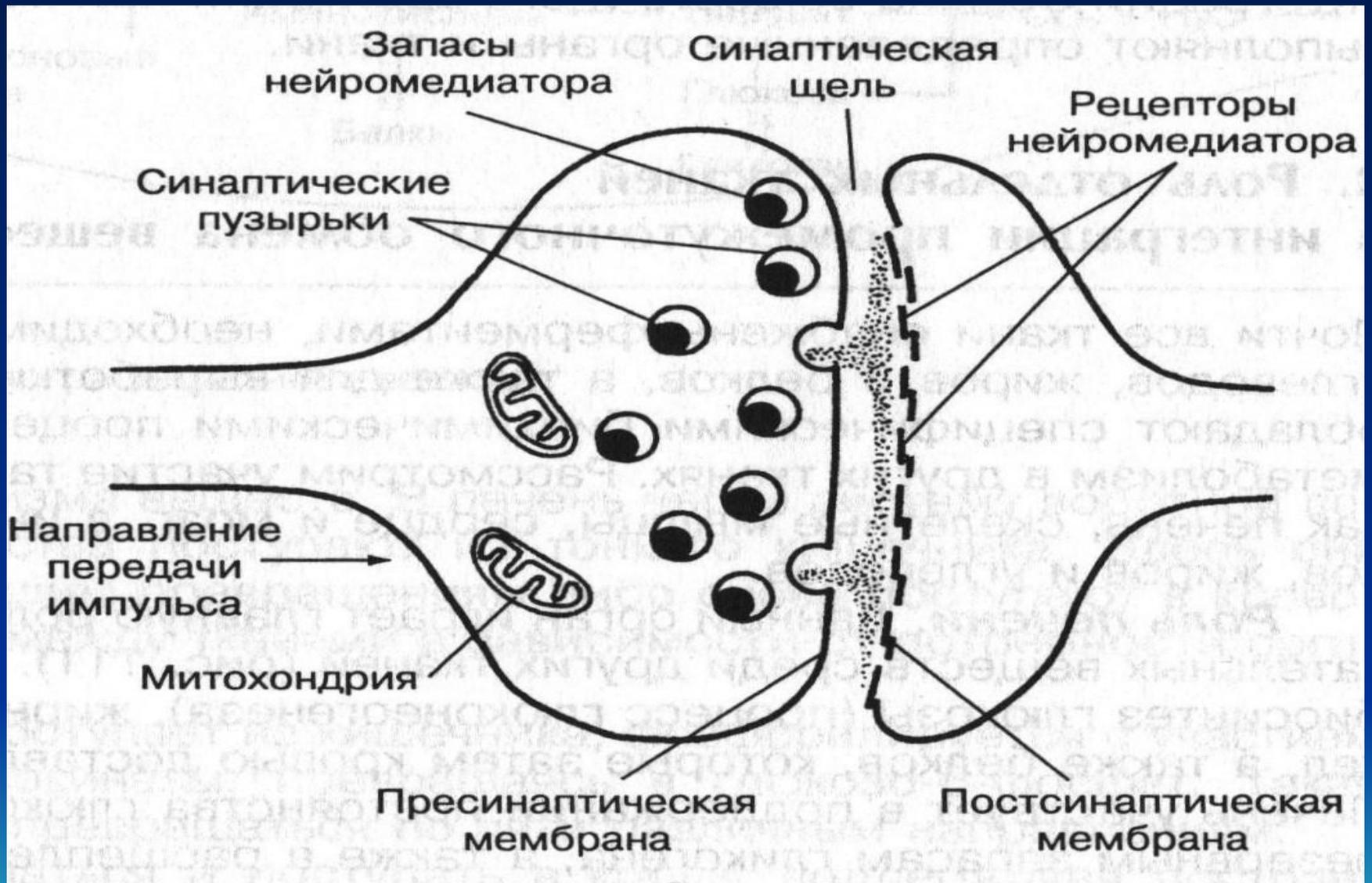
Сема механизма гормональной регуляции образования АТФ в митохондриях.



Строение нейрона (а) и процесс образования электрического потенциала действия на аксоне (б)



СТРОЕНИЕ СИНАПСА



Регуляторное воздействие ЦНС

- Вовлечение разного количества мышечных волокон (двигательных единиц) в процесс сокращения.
 - Изменение частоты иннервации или активации двигательных единиц.
 - Подключением разных по величине мотонейронов – малых с низкой возбудимостью или больших с высокой возбудимостью.
 - Подключением различных типов мышечных волокон – быстрых или медленных, которые имеют свои механизмы энергообеспечения.
 - Изменением концентрации ионов в волокнах, которые активируют или ингибируют многие ферментные системы.
- 

РОЛЬ ПЕЧЕНИ в интеграции обмена веществ

- Данный орган играет главную роль в распределении питательных веществ среди других тканей. В ней осуществляются:
 1. Биосинтез глюкозы (процесс глюконеогенеза)
 2. Биосинтез жирных кислот и кетоновых тел
 3. Биосинтез белков
 4. Печень участвует в поддержании постоянства глюкозы в крови благодаря резервным запасам гликогена
 5. Расщепление жиров в процессе пищеварения
 6. Детоксикация лекарств, консервантов, гормонов и др.

Глюкоза, которая поступает из кишечника, фосфорилируется с участием АТФ и фермента гексокиназы, превращается в глюкозо-6-фосфат. Такая форма глюкозы может превращаться по пяти различным направлениям:

1. **Дефосфорилироваться и поступать в кровь, поддерживая постоянный уровень глюкозы;**
2. **Использоваться для восстановления или накопления гликогена печени;**
3. **Использоваться для синтеза жиров**
4. **Окисляться в процессе гликолиза либо аэробно, поставляя АТФ и тепло (однако печень для энергетических нужд использует преимущественно жиры)**
5. **Окисляться в пентозном цикле и поставлять пентозы для образования нуклеотидов и НАДН₂ для биосинтеза жиров.**
6. Печень в процессе глюконеогенеза для синтеза глюкозы использует также молочную кислоту.

РОЛЬ ПЕЧЕНИ

- Молочная кислота подвергается окислению и превращению в глюкозу преимущественно в печени.
- Таким образом печень участвует:
 1. Печень участвует в нормализации кислотно-щелочного состояния организма и способствует восстановлению уровня глюкозы в крови, в период отдыха – и запасов гликогена в мышцах
 2. Согласно последним исследованиям, большая часть молочной кислоты (до 75%) аэробно окисляется в различных тканях, поставляя энергию для восстановления энергетических субстратов. Меньшая ее часть (20%) превращается в печени в глюкозу. Такая интеграция обмена веществ между тканями (мышцы-печень) играет важную роль в восстановлении исчерпавшихся запасов углеводов после тяжелой физической работы.
 3. Важную роль печень играет в метаболизме и перераспределении жиров, т.к. в ней синтезируются жирные кислоты, фосфолипиды, холестерин, кетоновые тела. Далее кетоновые тела поступают в кровь и извлекаются скелетными мышцами, сердцем, а в условиях голодания или длительной физической работы – и мозгом, где метаболируют в цикле Кребса с накоплением энергии АТФ.



РОЛЬ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ

- Обмен веществ в скелетных мышцах направлен на выработку энергии для процессов сокращения и расслабления, количество которой резко изменяется в зависимости от их активности.
- Основные энергетические субстраты скелетной мышцы: глюкоза, жирные кислоты, кетоновые тела.
- Глюкоза депонируется в виде гликогена (2% массы мышц), который способен быстро распадаться на глюкозо-6-фосфат и окисляться в процессе гликолиза. Глюкозо-6-фосфат не может превращаться в свободную глюкозу и поступать в кровь, как это происходит в печени, из-за отсутствия фермента глюкозо-6-фосфатазы. Поэтому углеводы мышц используются только для собственных нужд.
- В покое и при работе умеренной интенсивности энергетическими субстратами служат СЖК (свободные ЖК), кетоновые тела и глюкоза, которые поступают и печени в кровь и извлекаются мышцами. Окисляются они в аэробном процессе. При этом потребляется около 30% поступающего в организм O_2 .
- При интенсивной работе возрастает потребность в АТФ. Аэробные процессы не могут ее восполнить, хотя потребление кислорода мышцами увеличивается до 90%. Подключаются анаэробные механизмы образования АТФ путем использования креатинфосфата и запасов гликогена. Мышечный гликоген поставляет энергию мышцам только гликолитическим путем. Образуется молочная кислота, которая частично окисляется в мышцах или выходит в кровь, доставляется в печень, где используется для новообразования глюкозы. Накопление молочной кислоты в мышцах снижает рН и эффективность энергетических процессов. В мышцах глюкоза не синтезируется, а поступает из печени через кровоток и используется для восстановления запасов гликогена.



РОЛЬ СЕРДЕЧНОЙ МЫШЦЫ

- Сердечная мышца работает преимущественно в аэробном режиме.
- Содержит большое количество митохондрий, которые занимают 40% объема цитоплазмы
- В качестве субстрата окисления используются жирные кислоты, кетоновые тела, ПВК и молочная кислота, глюкоза.
- Гликоген сердечная мышца почти не депонирует.
- В связи с аэробным энергетическим обменом для сердечной мышцы обязательным является достаточное поступление кислорода.
- При гипоксических состояниях накапливаются недоокисленные продукты обмена, что может вызвать состояние ацидоза и нарушение сократительной функции миокарда.

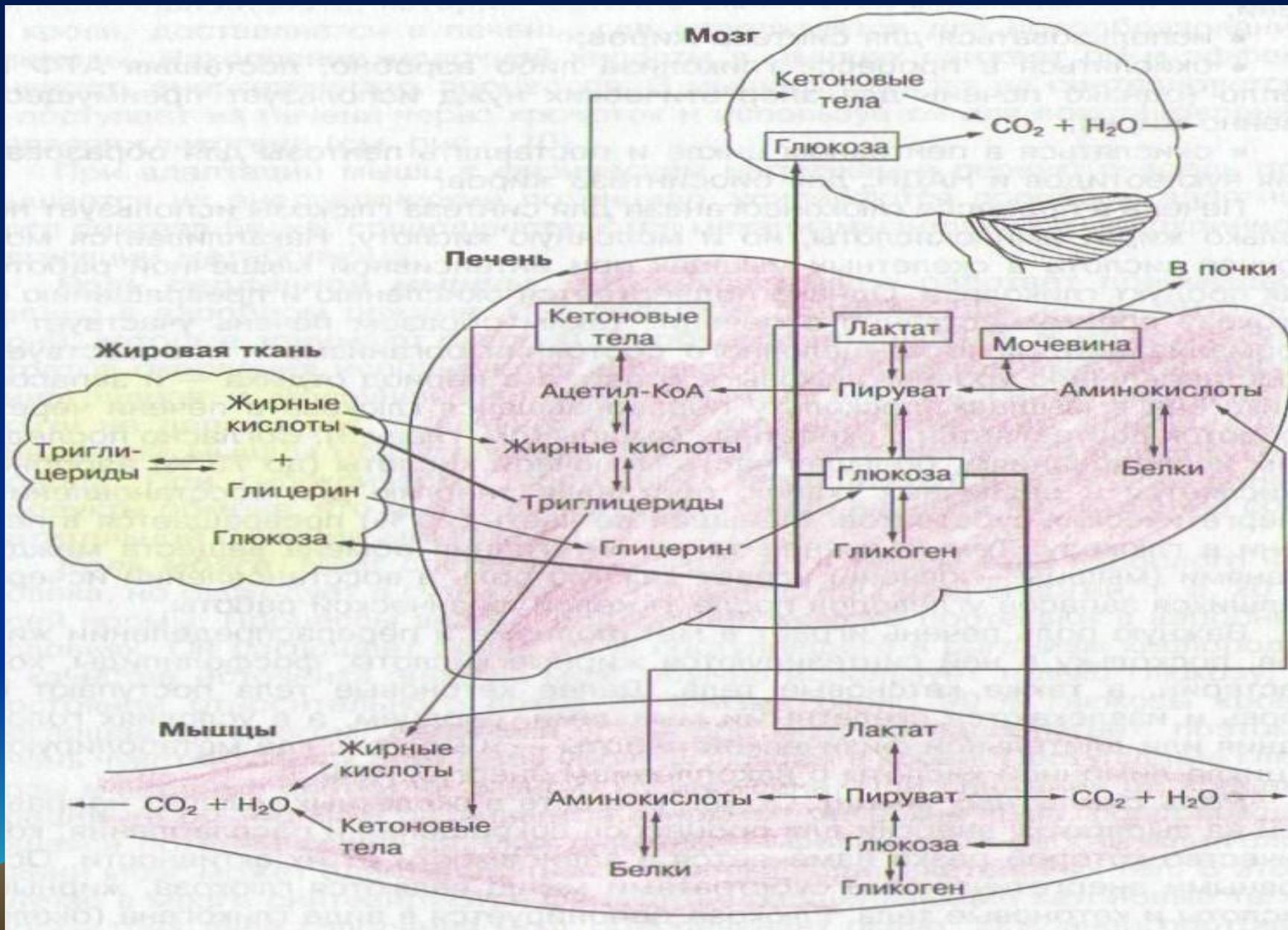


РОЛЬ МОЗГА

- Мозг составляет 2 % массы тела человека, но расходует в сутки 400 ккал (1680 кДж) энергии (20% всей нормы).
- Процессы энергообразования в мозге протекают в аэробных условиях.
- Мозг поглощает 20% поступившего в организм кислорода.
- В качестве источника энергии мозг использует только глюкозу.
- В состоянии относительного покоя организма около 90% глюкозы крови поглощается мозгом.
- Запасами углеводов мозг не располагает, поэтому он чувствителен к снижению уровня глюкозы в крови.
- Поступление глюкозы в нервные клетки не зависит от инсулина.
- При снижении концентрации глюкозы до 60-40 мг% развивается гипогликемическая кома, сопровождающаяся потерей сознания.
- При длительной физической нагрузке или голодании мозг может адаптироваться к использованию кетоновых тел. В этом случае в мозге синтезируются ферменты, расщепляющие кетоновые тела.
- После 3х дней голодания мозг обеспечивает около 30% энергопотребления за счет кетоновых тел, а после 40 дней голодания – уже 70%.
- Окисляется в мозге преимущественно бета-гидроксибутират, который образуется в печени.
- В мозге энергия АТФ используется для передачи нервного импульса по нейрону и в синапсах, а также для поддержания работы ионных каналов и синтеза нейротрансмиттеров.



РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ ТКАНЕЙ В ИНТЕГРАЦИИ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ



- БЛАГОДАРЮ
- ЗА ВНИМАНИЕ

