

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ МЕТАБОЛИЗМ

Обмен веществ и энергии в
организме человека

2012 год

[Метаболизм — Википедия](#)

Метабо́лизм (от греч. μεταβολή — «превращение, изменение»), или **обмен веществ** — набор химических реакций, которые возникают в живом организме для поддержания жизни. *Эти процессы позволяют организмам расти и размножаться, сохранять свои структуры и отвечать на воздействия окружающей среды*

ru.wikipedia.org

[Обмен веществ](#)

Или **метаболизм**, — лежащий в основе жизни закономерный порядок превращения **веществ** и **энергии** в живых системах, направленный на их сохранение и самовоспроизведение; совокупность всех химических реакций, протекающих в организме

[БСЭ](#)

Обмен веществ, или **метаболизм**, — лежащий в основе жизни закономерный порядок превращения **веществ** и **энергии** в живых системах, направленный на их сохранение и самовоспроизведение; совокупность всех химических реакций, протекающих в организме

[БСЭ](#)

Обмен веществ (метаболизм), совокупность химических процессов, обеспечивающих жизнедеятельность организма

= Ж В и Э ХР



ЖК «Дом на Гоголя» Кристалл





Метаболизм

(фр. *métabolisme* от греч. *μεταβολή* — превращение, изменение») — течение в архитектуре и градостроительстве середины XX в

представляет альтернативу господствовавшей в то время в архитектуре идеологии функционализма



Понятие обмена веществ впервые встречается в работах Ибн аль-Нафиса (1213—1288), который писал, что «тело и его части находятся в постоянном состоянии распада и питания, так что оно неизбежно претерпевает постоянные изменения»

Первые контролируемые эксперименты по метаболизму у человека были опубликованы Санторио Санторио в 1614 году в книге «Ars de statica medicina»

Он рассказал, как он сам взвесил себя до и после приёма пищи, сна, работы, секса, натошак, после питья и выделения мочи. Он обнаружил, что большая часть пищи, которую он принял, была утрачена в результате процесса, названного «незаметным



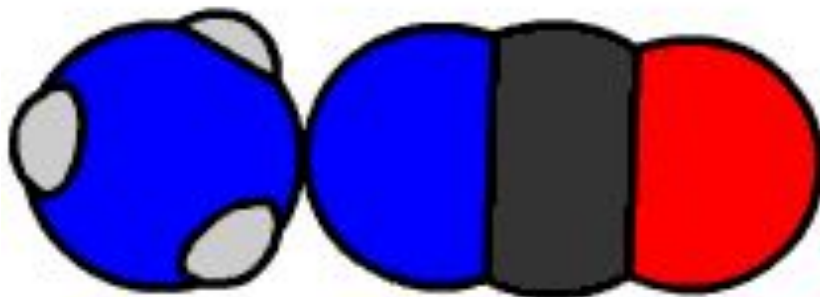
В ранних исследованиях механизмы метаболических реакций не были обнаружены и считалось, что живой тканью управляет живая сила

Витализм

(от лат. *vitalis* — «жизненный») — учение о наличии в живых организмах нематериальной сверхъестественной силы, управляющей жизненными явлениями — «жизненной силы» (лат. *vis vitalis*) («души», «энтелехии», «археи» и проч.). Теория витализма постулирует, что процессы в биологических организмах зависят от этой силы, и не могут быть объяснены с точки зрения физики, химии или биохимии

Витализм развивался в масштабе цивилизационных эпох

- в учении Гиппократов эти энергии назывались «гуморы»
- в восточных учениях — «ци» или «прана» (представление об энергетической структуре человека)
- часто обнаруживается в наивных биологических теориях детей



Знаменитый синтез карбамида (мочевины) из типичного неорганического вещества (цианата аммония), осуществлен немецким химиком Фридрихом Вёлером (Wöhler Friedrich) в 1828 г

Этот синтез положил конец спору с учеными-виталистами, полагавшими, что органические вещества могут продуцироваться только за счет жизненной

В XIX веке при исследовании ферментации сахара спирта дрожжами Луи Пастер сделал вывод, что брожение катализируется веществами из дрожжевых клеток, которые он назвал ферментами. Пастер писал, что «алкогольное брожение — действие, связанное с жизнью и организуется дрожжевыми клетками, не связано со смертью или разложением клеток».

Это открытие, вместе с публикацией Фридриха Вёлера в 1828 году о химическом синтезе мочевины, доказали, что органические соединения и химические реакции, обнаруженные в клетках, не имеют различий в принципе как и любые другие разлепы химии

Виктор Васильевич Пашутин
(1845-1901)
ученик И. М. Сеченова



В.В.Пашутин

В **1874 г. в Казани** он возглавил кафедру общей патологии Казанского университета, а в дальнейшем руководил кафедрой общей и экспериментальной патологии в Санкт-Петербурге. В. В. Пашутин первым внедрил в медицину термин **«патологическая физиология»** и **фактически основал ее как науку.**

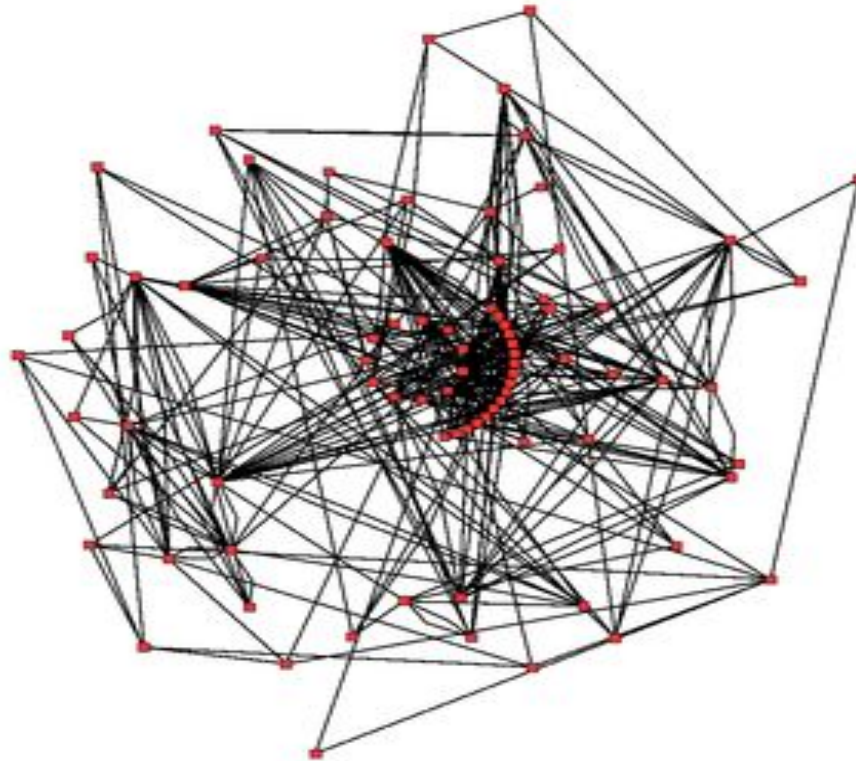
В. В. Пашутин считал патологическую физиологию **«философией медицины».**

Он **доказал авитаминозную природу цинги** (став **основоположником учения об авитаминозах**), **создал учение о кислородном голодании тканей (гипоксии);** его классические опыты по изучению **голодания** до сих пор являются основой для исследования этого состояния.

Он занимался изучением **пищеварения, функций эндокринных желез.** Перу В. В. Пашутина принадлежат первые руководства по общей и экспериментальной патологии

Идея сложности метаболических сетей в клетках, которые содержат тысячи различных ферментов, отражена на изображении внизу, показывающее взаимодействия только между 43 белками и 40 метаболитами, которые регулируются 45000 генов.

Тем не менее, сейчас можно использовать такие данные о геномах для воссоздания полной сети биохимических реакций и образовывать более целостные математические модели, которые могут объяснить и предсказать их поведение



Обмен веществ происходит между клетками организма и межклеточной жидкостью, постоянство состава которой поддерживается кровообращением: за время прохождения крови в капиллярах через проницаемые стенки капилляров плазма крови полностью обновляется с интерстициальной жидкостью

Метаболизм

обычно делят на две стадии

- в ходе катаболизма сложные органические вещества деградируют до более простых;
- в процессах анаболизма с затратами энергии синтезируются такие вещества, как белки, сахара, липиды и нуклеиновые кислоты

КАТАБОЛИЗМ

- Катаболизмом называют метаболические процессы, при которых расщепляются относительно крупные органические молекулы сахаров, жиров, аминокислот. В ходе катаболизма образуются более простые органические молекулы, необходимые для реакций анаболизма (биосинтеза). Часто, **именно в ходе реакций катаболизма организм мобилизует энергию**, переводя энергию химических связей органических молекул, полученных в процессе переваривания пищи, в доступные формы: в виде АТФ, восстановленных коферментов и трансмембранного электрохимического потенциала

Катаболизм у животных может быть разделён на три основных этапа:

- Во-первых, крупные органические молекулы, такие как белки, полисахариды и липиды расщепляются до более мелких компонентов вне клеток.
- Далее эти небольшие молекулы попадают в клетки и превращаются в ещё более мелкие молекулы, например, ацетил-КоА.
- Ацетильная группа кофермента А окисляется до воды и углекислого газа в цикле Кребса и дыхательной цепи, высвобождая при этом энергию, которая запасается в форме АТФ

Пищеварение

Такие **макромолекулы**, как крахмал, целлюлоза или белки, **должны расщепляться** до более мелких единиц прежде, чем они могут быть использованы клетками. Несколько классов ферментов принимают участие в деградации: **протеазы**, которые расщепляют белки до пептидов и аминокислот, **гликозидазы**, которые расщепляют полисахариды до олиго- и моносахаридов. Аминокислоты и моносахариды, образующиеся в результате активности внеклеточных ферментов, затем поступают в клетки с помощью **активного транспорта**

Получение энергии

- Попав внутрь клеток, сахара (например, глюкоза и фруктоза) в процессе гликолиза превращаются в пировиноградную кислоту (пируват), при этом вырабатывается некоторое количество АТФ.
- Основной путь метаболизма пирувата — превращение в ацетил-КоА и далее поступление в цикл трикарбоновых кислот. При этом в цикле Кребса в форме АТФ запасается часть энергии, а также восстанавливаются молекулы NADH (Никотинамидадениндинуклеотид) и FAD. В процессе гликолиза и цикла трикарбоновых кислот образуется диоксид углерода, который является побочным продуктом

Ацетил коэнзим А или ацетил-КоА (ацетилСоА) – доставляет атомы углерода с ацетил-группой в цикл трикарбоновых кислот, чтобы те были окислены с выделением энергии. Ацетил-КоА образуется во время второго шага кислородного клеточного дыхания, декарбоксилирования пирувата, который происходит в матриксе митохондрии. Ацетил-КоА затем поступает в цикл трикарбоновых

Никотинамидадениндинуклеотид (НАД, NAD) — кофермент, присутствующий во всех живых клетках, входит в состав ферментов группы дегидрогеназ, катализирующих окислительно-восстановительные реакции; выполняет функцию переносчика электронов и водорода, которые принимает от окисляемых веществ. Восстановленная форма (NADH) способна переносить их на другие вещества.

ОТЛИЧИЕ ЕГО ОТ ДРУГОГО ВАЖНЕЙШЕГО КОФЕРМЕНТА — NADP ИЛИ НИКОТИНАМИДАДЕНИНДИНУКЛЕОТИДФОСФАТА, В ТОМ, ЧТО ПОСЛЕДНИЙ СОДЕРЖИТ В МОЛЕКУЛЕ ЕЩЁ ОДИН ОСТАТОК ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ, СВЯЗАННОЙ С 21-УГЛЕРОДНЫМ АТОМОМ РИБОЗЫ

FAD — флавинадениндинуклеотид — кофермент, принимающий участие во многих окислительно-восстановительных биохимических процессах, может быть восстановлен до $FADH_2$, при этом он принимает два атома водорода. Молекула $FADH_2$ является переносчиком энергии и восстановленный кофермент может быть использован как субстрат в реакции окислительного фосфорилирования в митохондриях. Молекула $FADH_2$ окисляется в FAD, при этом выделяется энергия, эквивалентная (запасаемая в форме) двум молям АТФ. Основным источником восстановленного FAD у эукариот — цикл Кребса и бета-окисление липидов

Упрощённая схема катаболизма белков, сахаров и липидов



Общее уравнение одного оборота цикла Кребса:
 $\text{Ацетил-КоА} \rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{КоА} + 8\text{e}^-$

ЦИКЛ КРЕБСА

- Цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса, цитратный цикл) — центральная часть общего пути катаболизма, циклический биохимический аэробный процесс, в ходе которого происходит превращение двух- и трёхуглеродных соединений, образующихся как промежуточные продукты в живых организмах **при распаде углеводов, жиров и белков, до CO_2** . При этом освобождённый водород направляется в цепь тканевого дыхания, где в дальнейшем окисляется до воды, принимая непосредственное участие в синтезе универсального источника энергии — АТФ.
- Цикл Кребса — это **ключевой этап дыхания всех клеток**, использующих кислород, центр пересечения множества метаболических путей в организме. Кроме значительной энергетической роли циклу отводится также и существенная **пластическая функция**, то есть это важный источник молекул-предшественников, из которых в ходе других биохимических превращений синтезируются такие важные для жизнедеятельности клетки соединения как аминокислоты, углеводы, жирные кислоты и др.
- Цикл превращения лимонной кислоты в живых клетках был открыт и изучен немецким биохимиком **Хансом Кребсом**, за эту работу он

Жиры на первом этапе катаболизма гидролизуются в свободные жирные кислоты и глицерин. Жирные кислоты расщепляются в процессе бета-окисления с образованием ацетил-КоА, который в свою очередь далее катаболизируется в цикле Кребса, либо идет на синтез новых жирных кислот. Жирные кислоты выделяют больше энергии, чем углеводы, так как жиры содержат удельно больше атомов водорода в своей структуре.

Аминокислоты либо используются для синтеза белков и других биомолекул, либо окисляются до мочевины, диоксида углерода и служат источником энергии. Окислительный путь катаболизма аминокислот начинается с удаления аминогруппы ферментами трансминазами. Аминогруппы утилизируются в цикле мочевины; аминокислоты, лишённые аминогрупп называют **кетокислотами**. Некоторые кетокислоты — промежуточные продукты цикла Кребса. Например, при дезаминировании глутамата образуется альфа-кетоглутаровая кислота.

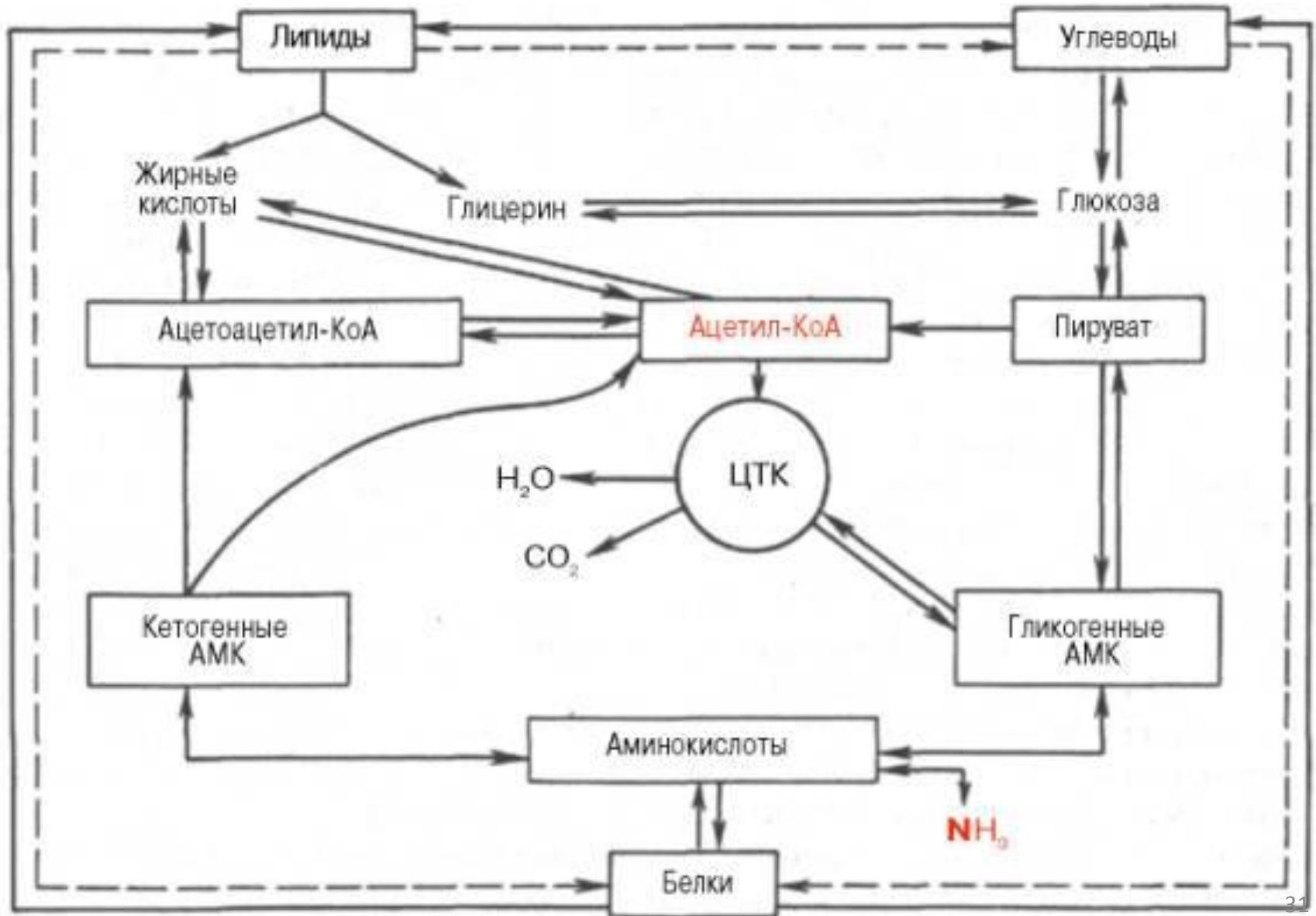
Гликогенные аминокислоты также могут быть преобразованы в глюкозу в реакциях **глюконеогенеза**.

Анаболизм

- Анаболизм — совокупность метаболических процессов биосинтеза сложных молекул с затратой энергии
- Сложные молекулы, входящие в состав клеточных структур, последовательно синтезируются из более простых предшественников
- Анаболизм включает три основных этапа, каждый из которых катализируется специализированным ферментом:
 1. На первом этапе синтезируются молекулы-предшественники, например, аминокислоты, моносахариды, терпеноиды и нуклеотиды
 2. На втором этапе предшественники с затратой энергии АТФ преобразуются в активированные формы
 3. На третьем этапе активированные мономеры объединяются в более сложные молекулы, например, белки, полисахариды, липиды и нуклеиновые кислоты

Движение и распад веществ в желудочно-кишечном тракте	Процессы в клетке
<p>1. Обмен белков Белки пищи → пищеварительный канал → аминокислоты → кровь →</p>	<p>1. Синтез специфических белков → органоиды клетки, мембраны и ферменты. 2. Распад с образованием энергии (1г → 17,6 кДж)</p>
<p>2. Обмен жиров Липиды пищи → пищеварительный канал → жирные кислоты, глицерин → кровь, лимфа</p>	<p>1. Запасание в жировом депо. 2. Расщепление с выделением энергии (1г → 39 кДж)</p>
<p>3. Обмен углеводов Углеводы пищи → пищеварительный канал → моносахариды ↓ ↓ печень → кровь → (гликоген)</p>	<p>1. Окисление с выделением энергии (1г → 18 кДж).</p>

Взаимосвязь белков, жиров и углеводов



<p>Тип молекулы</p>	<p>Название формы <u>мономера</u></p>	<p>Название формы <u>полимера</u></p>	<p>Примеры форм полимера</p>
<p><u>Аминокислоты</u></p>	<p>Аминокислоты</p>	<p><u>Белки</u> (полипептиды)</p>	<p>Фибриллярные и глобулярные белки</p>
<p><u>Углеводы</u></p>	<p><u>Моносахариды</u></p>	<p><u>Полисахариды</u></p>	<p><u>Крахмал</u>, <u>гликоген</u>, <u>целлюлоза</u></p>
<p><u>Нуклеиновые кислоты</u></p>	<p><u>Нуклеотиды</u></p>	<p><u>Полинуклеотиды</u></p>	<p><u>ДНК</u> и <u>РНК</u></p>

№5

Основные группы биохимических молекул

Аминокислоты • Пептиды • Белки •
Углеводы • Нуклеотиды •
Нуклеиновая кислота • Липиды •
Терпены • Каротиноиды • Стероиды
• Флавоноиды • Алкалоиды •
Гликозиды • Иридоиды

Мы не сможем и не будем рассматривать все основные группы биохимических молекул, но все же остановимся на коферментах, минералах и кофакторах

Коферменты

Метаболизм включает широкий спектр химических реакций, большинство из которых относятся к нескольким основным типам **реакций переноса функциональных групп**. Для переноса функциональных групп **между ферментами**, катализирующими химические реакции, используются **коферменты**. Каждый класс химических реакций переноса функциональных групп катализируется отдельными ферментами и их кофакторами

Аденозинтрифосфат (АТФ), (АТР)

- Один из центральных коферментов, универсальный источник энергии клеток.
- Этот нуклеотид используется для передачи химической энергии, запасенной в макроэргических связях между различными химическими реакциями. В клетках существует небольшое количество АТФ, который постоянно регенерируется из ADP и AMP. Организм человека за сутки расходует массу АТФ, равную массе собственного тела.
- АТР выступает в качестве связующего звена между катаболизмом и анаболизмом: при катаболических реакциях образуется АТФ, при анаболических — энергия потребляется. АТФ также выступает донором фосфатной группы и в

Витамины

- **Витамины** — низкомолекулярные органические вещества, необходимые в небольших количествах, причём, например, у человека **большинство витаминов не синтезируется**, а получается с пищей или через микрофлору КТ.
- В организме человека большинство витаминов являются **кофакторами** ферментов.
- Большинство витаминов приобретают биологическую активность в измененном виде, например, все водорастворимые витамины в клетках фосфорилируются или соединяются с нуклеотидами.
- Витамины содержатся в пище (или в окружающей среде) в очень малых количествах, и поэтому относятся к микронутриентам.

Буквенное обозначение	Химическое название	Растворимость (Ж — жирорастворимый В — водорастворимый)	Последствия авитаминоза, физиологическая роль	Верхний допустимый уровень ^[4]	Суточная потребность ^[4]
A₁ A₂	Ретинол Дегидроретинол	Ж	Куриная слепота, ксерофтальмия	3000 мкг	900 мкг
B₁	Тиамин	В	Бери-бери	нет данных	1,5 мг
B₂	Рибофлавин	В	Арибофлавиноз	нет данных	1,8 мг
B₃, PP	никотинамид, никотиновая кислота, ниацин	В	Пеллагра	60 мг	20 мг
B₄	Холин	В	Расстройства печени	20 г	425—550 мг
B₅	Пантотеновая кислота, кальция пантотенат	В	Боли в суставах, выпадение волос, судороги конечностей, параличи, ослабление зрения и памяти.	нет данных	5 мг
B₆	Пиридоксин	В	Анемия, головные боли, утомляемость, дерматиты и др. кожные заболевания, кожа лимонно-жёлтого оттенка, нарушения аппетита, внимания, памяти, работы сосудов	25 мг	2 мг

В₇, Н	Биотин	В	Поражения кожи, исчезновение аппетита, тошнота, отечность языка, мышечные боли, вялость, депрессия	нет данных	50 мкг
В₈	Инозит ^[# 1]	В	Нет данных	нет данных	500 мг
В₉, В_с, М	Фолиевая кислота	В	Фолиево-дефицитная анемия, нарушения в развитии спинальной трубки у эмбриона	1000 мкг	400 мкг
В₁₀	п-Аминобензойная кислота, ПАБ	В	Стимулирует выработку витаминов кишечной микрофлорой. Входит в состав фолиевой кислоты		Не установлена
В₁₁, В_т	Левокарнитин ^[# 1]	В	Нарушения метаболических процессов	нет данных	300 мг
В₁₂	Цианокобаламин	В	Пернициозная анемия	нет данных	3 мкг
В₁₃	Оротовая кислота ^[# 1]	В	Различные кожные заболевания (экзема, нейродермит, псориаз, ихтиоз)	нет	0,5—1,5 мг
В₁₅	Пангамовая кислота ^[# 1]	В	В ₁₂ фолиеводефицитная анемия	нет данных	50—150 мг
С	Аскорбиновая кислота	В	Цинга (лат. <i>scorbutus</i> — цинга)	2000 мг	90 мг
Д₁ Д₂ Д₃ Д₄ Д₅	Ламистерол Эргокальциферол Холекальциферол Дигидротахистерол 7- дегидротахистерол	Ж	Рахит, остеомаляция	50 мкг	10—15 мкг ^[5]

E	α -, β -, γ -токоферолы	Ж	Нервно-мышечные нарушения: спинально-мозжечковая атаксия (атаксия Фридрейха), миопатии. Анемия. ^[6]	300 мг	15 мг
F	Смесь триглицеридов жирных кислот Омега-3 и Омега-6	Ж	Атеросклероз, замедление развития, ускоренное старение тканей	нет данных	нет данных
K₁ K₂	Филлохинон Фарнохинон	Ж	Гипокоагуляция	нет данных	120 мкг
N	Липоевая кислота ^[# 1]	B	Необходима для нормального функционирования печени	нет данных	30 мг
P	Биофлавоноиды, полифенолы ^[# 1]	B	Ломкость капилляров	нет данных	нет данных
U	Метионин ^{[# 1][7]} S-метилметионинсульфоний-хлорид	B	Противоязвенный фактор; витамин U (от лат. <i>ulcus</i> — язва)		

Примечания

1. ↑ ^{1 2 3 4 5 6 7} Витаминоподобное вещество

Как правило суточная норма витаминов различается в зависимости от возраста, рода занятий, сезона года, беременности, пола и др. факторов.

Ксенобиотики и окислительный метаболизм

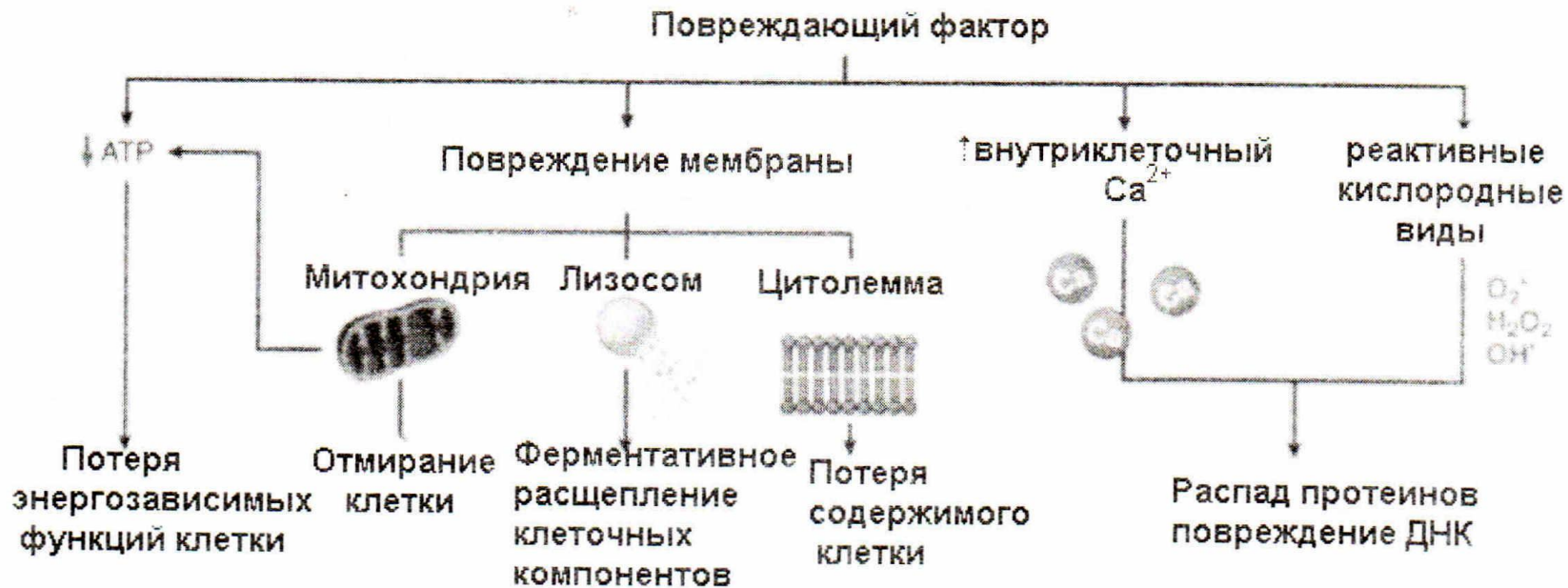
Все организмы постоянно подвергаются воздействию соединений, накопление которых может быть вредно для клеток. Такие потенциально опасные чужеродные соединения называются **ксенобиотиками**.

Ксенобиотики, например синтетические лекарства и яды природного происхождения, детоксицируются специализированными ферментами. У человека такие ферменты представлены, например, **цитохром-оксидазами, глюкуронилтрансферазой, и глутатион S-трансферазой**. Эта система ферментов действует в **три этапа**:

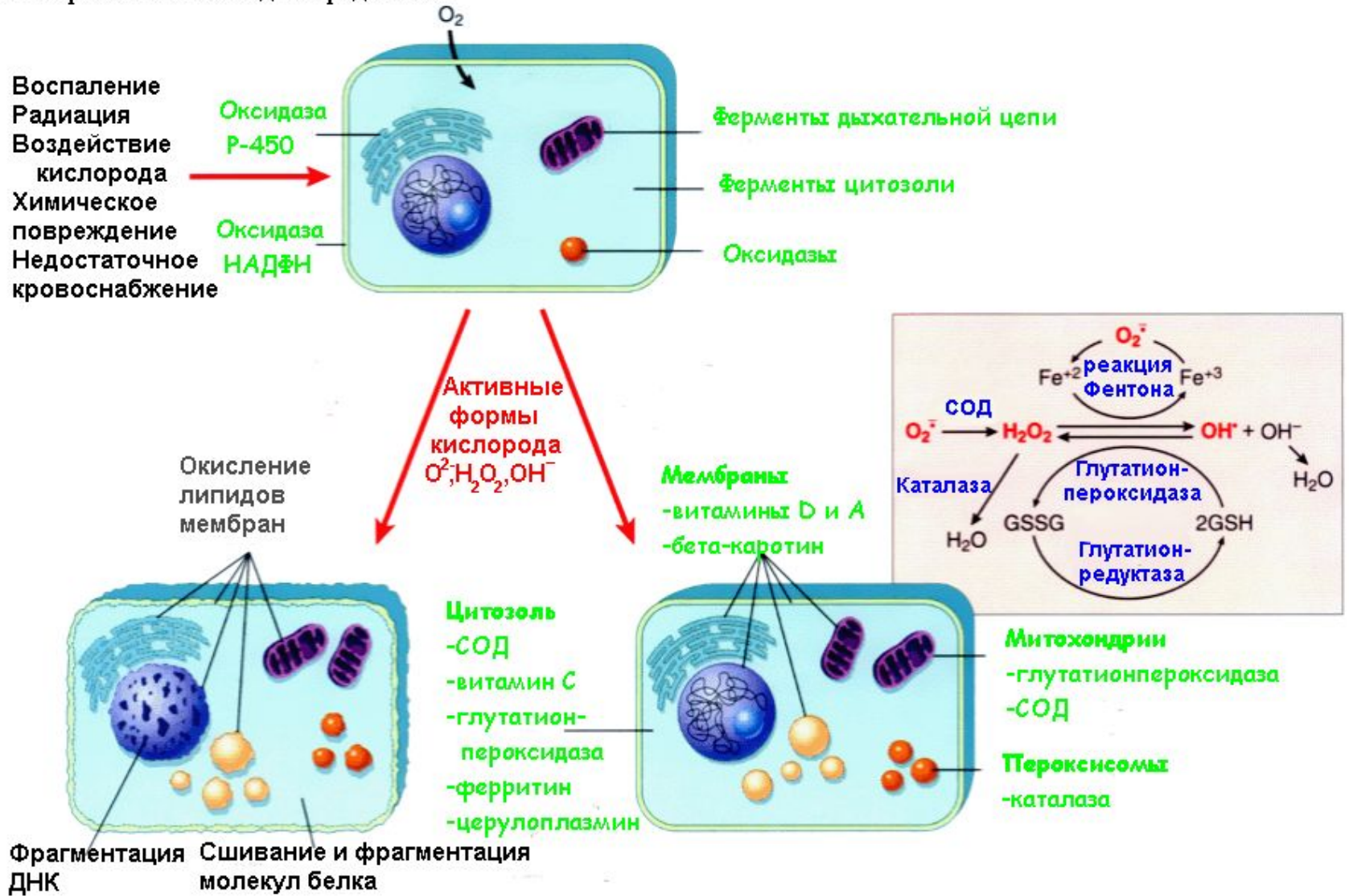
- на первой стадии ксенобиотики окисляются
- затем происходит конъюгирование водорастворимых групп в молекулы
- модифицированные водорастворимые ксенобиотики могут быть удалены из клеток и метаболизированы перед их экскрецией.

Связанной с этим проблемой для аэробных организмов является **оксидативный стресс**. В процессе окислительного фосфорилирования и образования дисульфидных связей при укладке белка образуются **активные формы кислорода**, например пероксид водорода. Эти повреждающие оксиданты удаляются антиоксидантами, например глутатионом и ферментами каталазой и пероксидазами

Пути реализации повреждения клетки



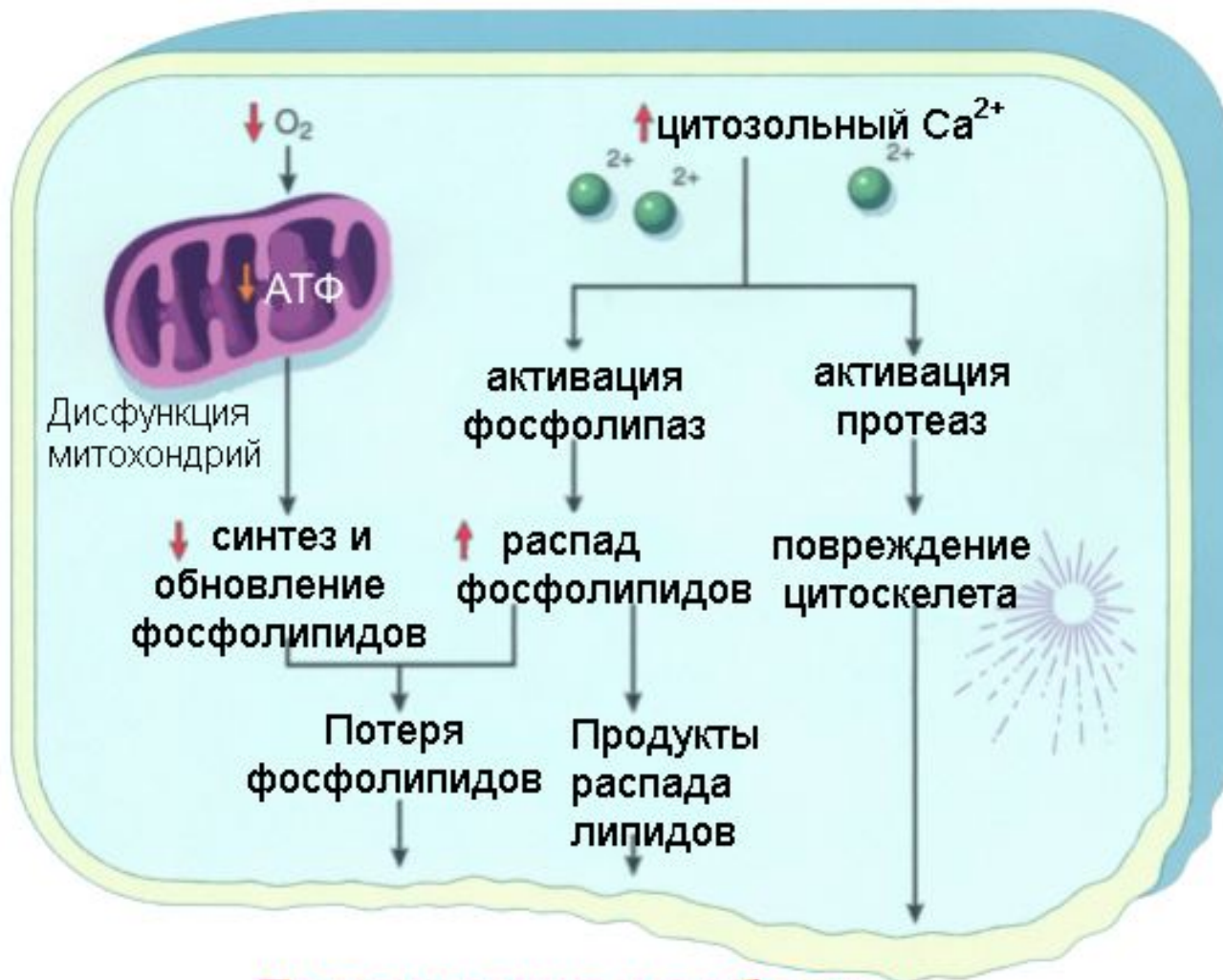
А. Образование свободных радикалов



Б. Повреждение клетки свободными радикалами В. Нейтрализация свободных радикалов. Повреждения клетки нет

Роль активных форм кислорода в повреждении клетки.

- Кислород превращается в **супероксидный радикал** под воздействием оксидазных ферментов в ЭПС, митохондриях, цитоплазматической мембране, пероксисомах и цитозоли. O^{2-} превращается в H_2O_2 в реакции дисмутации и затем в OH^- в реакции Фентона, катализирующейся Cu^{2+} , Fe^{2+} .
- H_2O_2 также образуется прямо из оксидаз в пероксисомах. О других возможных повреждающих радикалах, образующихся из кислорода, информации нет. Повреждение липидов, белка и ДНК свободными радикалами ведёт к разнообразным формам повреждения клетки.
- Главные антиоксидантные ферменты – супероксиддисмутаза (СОД), каталаза и глутатионпероксидаза.



Повреждение мембраны