

Лекция 7. Витамины

План лекции:

- 1 Витамины, история их открытия*
- 2 Понятие и основные признаки витаминов*
- 3. Классификация и номенклатура витаминов. Жирорастворимые витамины. Водорастворимые витамины*
- 4. Обмен кальция при участии жирорастворимых витаминов*
- 5. Никотинамид как активная группа коферментов НАД*
- 6. Строение НАД (Н) и его роль в биоэнергетике живой клетки*

1. Витамины– это необходимые для нормальной жизнедеятельности низкомолекулярные органические соединения, синтез которых у организмов данного вида отсутствует или ограничен.

Начало изучения витаминов было положено русским врачом Н.И.Луниным, который еще в 1888 г. установил, что для нормального роста и развития животного организма, кроме белков, жиров, углеводов, воды и минеральных веществ, необходимы еще какие-то, пока неизвестные науке вещества, отсутствие которых приводит организм к гибели.

Доказательство существования витаминов завершилось работой польского учёного Казимира Функа, который в 1912 г. выделил из рисовых отрубей вещество, излечивающее паралич голубей, питавшихся только полированным рисом (бери-бери - так называли это заболевание у людей стран Юго-Восточной Азии, где население питается преимущественно одним рисом). Химический анализ выделенного К.Функом вещества показал, что в его состав входит азот. Открытое им вещество Функ назвал витамином (от слов «вита» - жизнь и «амин» - содержащий азот).

Правда, потом оказалось, что не все витамины содержат азот, но старое название этих веществ осталось. В наши дни принято обозначать витамины их химическими названиями: ретинол, тиамин, аскорбиновая кислота, никотинамид, - соответственно А, В, С, РР.

2. Витамины и их производные являются активными участниками биохимических и физиологических процессов, протекающих в живых организмах.

В организмах млекопитающих большинство витаминов не синтезируется, а некоторые синтезируются кишечной микрофлорой или тканями в недостаточных количествах, поэтому витамины должны поступать с пищей. Некоторые микроорганизмы и высшие растения также нуждаются в определенных витаминах.

Особенности функционирования витаминов в живых организмах заключаются в следующем: 1) практически не синтезируются в организме; 2) источником витаминов служит пища и/или кишечные бактерии; 3) содержатся в организме в небольших количествах; 4) не входят в состав пластического материала организма и не используются в качестве источника энергии; 5) в большинстве случаев выполняют коферментные функции.

Для обозначения каждого витамина существует буквенное латинское обозначение (например, витамины группы В), химическое (например, никотиновая кислота) и физиологическое названия (например, витамин роста). Отдельные витамины могут быть представлены группой соединений, близких по химическому строению и проявляющих близкую биологическую активность, называемых **витамерами** (например, витамин А может быть представлен витамерами А₁ и А₂).

Основные признаки витаминов:

- содержатся в пище в незначительных количествах (микрокомпоненты);
- либо не синтезируются в организме вообще, либо синтезируются в незначительных количествах микрофлорой кишечника;
- не выполняют пластических функций;
- не являются источниками энергии;
- являются кофакторами многих ферментативных систем;

- оказывают биологическое действие в малых концентрациях и влияют на все обменные процессы в организме, требуются организму в очень небольших количествах: от нескольких мкг до нескольких мг в день..

Известны разные **степени необеспеченности организма** витаминами:

авитаминозы - полное истощение запасов витаминов;

гиповитаминозы - резкое снижение обеспеченности тем или иным витамином;

гипервитаминозы - избыток витаминов в организме.

Вредны все крайности: как недостаток, так и избыток витаминов, так как при избыточном потреблении витаминов развивается отравление (интоксикация). Явление гипервитаминоза касается лишь витаминов А и D, избыточное количество большинства других витаминов быстро выводится из организма с мочой. Но есть еще так называемая субнормальная обеспеченность, которая связана с дефицитом витаминов и проявляется она в нарушении обменных процессов в органах и тканях, но без явных клинических признаков (например, без видимых изменений в состоянии кожи, волос и других внешних проявлений). Если такая ситуация регулярно повторяется по разным причинам, то это может привести гипо- или авитаминозу.

3. Классификация и номенклатура витаминов

По растворимости в воде и жирах витамины подразделяют на две группы: *водорастворимые* и *жирорастворимые*. В каждой из этих групп, наряду с витаминами, выделяют *витаминоподобные соединения*, выполняющие функции витаминов, но требующиеся организму в сравнительно больших количествах.

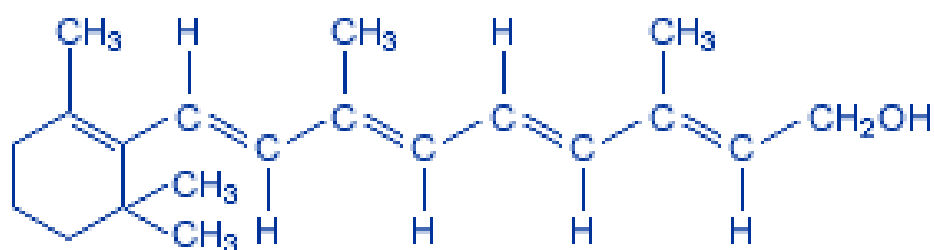
Суточная потребность в витаминах невелика, но при недостаточном или избыточном поступлении витаминов в организме наступают характерные и опасные патологические состояния: 1) *авитаминоз* – комплекс симптомов, развивающихся в организме в результате достаточно длительного полного или почти полного отсутствия одного или нескольких (полиавитаминоз) витами-

нов; 2) *гипо- и гипervитаминозы*— болезни, вызванные, соответственно, недостаточным или избыточным поступлением витамина или нескольких витаминов (полигипо- и полигипervитаминозы).

Вещества, структурно подобные витаминам, которые при взаимодействии с апоферментом образуют неактивные формы ферментов, называются *антивитаминами* и находят применение в медицинской практике для лечения ряда заболеваний (например, сульфаниламидные препараты).

Жирорастворимые витамины

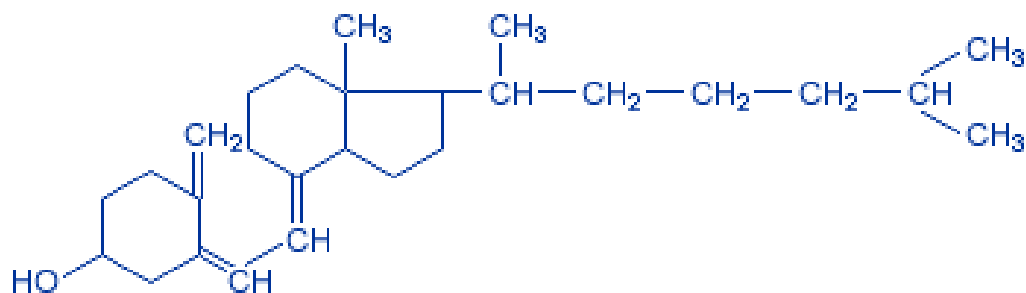
Витамин А (ретинол)



— зрительный процесс (регулирует рост и дифференцировку клеток). является предшественником группы «ретиноидов», к которой принадлежат ретиноль и ретиноевая кислота. Ретинол образуется при окислительном расщеплении провитамина β -каротина. Ретиноиды содержатся в животных продуктах, а β -каротин - в свежих фруктах и овощах (в особенности в моркови). Ретиноль обуславливает окраску зрительного пигмента родопсина. Ретиноевая кислота выполняет функции фактора роста.

При недостатке витамина А развиваются ночная («куриная») слепота, ксерофтальмия (сухость роговой оболочки глаз), наблюдается нарушение роста.

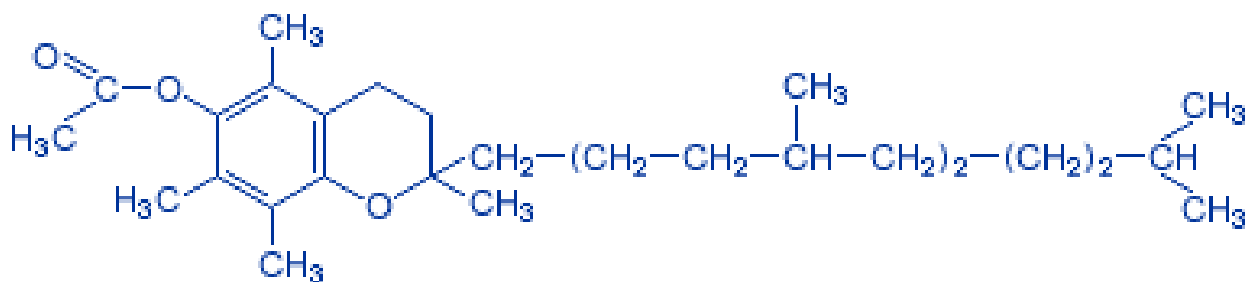
Витамин Д (кальциферол)



- обмен кальция и фосфора. При гидроксилировании в печени и почках образует гормон *кальцитриол* (1 α ,25-дигидроксихолекальциферол). Вместе с двумя другими гормонами (паратгормоном, или паратирином, и кальцитонином) кальцитриол принимает участие в регуляции метаболизма кальция. Кальциферол образуется из предшественника 7-дегидрохолестерина, присутствующего в коже человека и животных, при облучении ультрафиолетовым светом.

Если УФ-облучение кожи недостаточно или витамин D отсутствует в пищевых продуктах, развивается витаминная недостаточность и, как следствие, *рахит* у детей, *остеомаляция* (размягчение костей) у взрослых. В обоих случаях нарушается процесс минерализации (включения кальция) костной ткани.

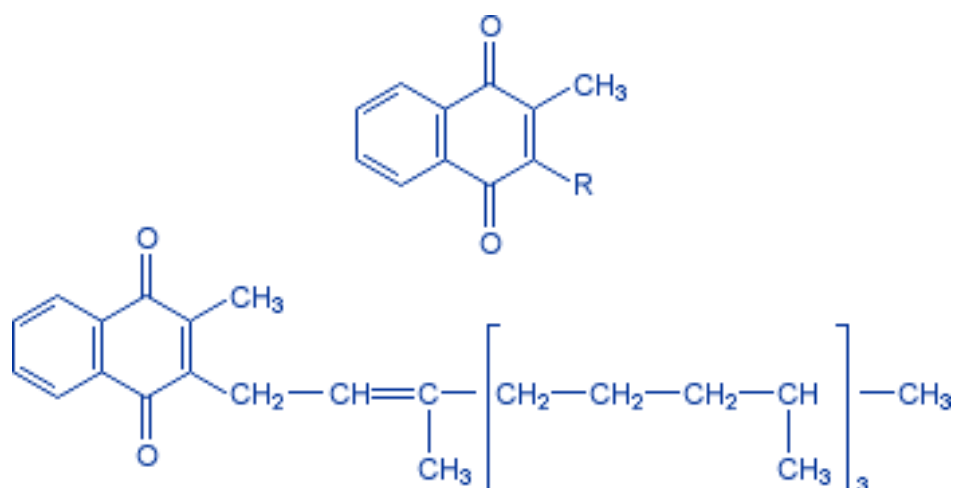
Витамин Е (токоферол)



- антиоксидант, транспорт электронов (защита мембранных липидов).

Он включает **токоферол** и группу родственных соединений с хромановым циклом. Такие соединения содержатся только в растениях, особенно их много в проростках пшеницы. Для ненасыщенных липидов эти вещества являются эффективными антиоксидантами.

Витамин К (филлохинон)



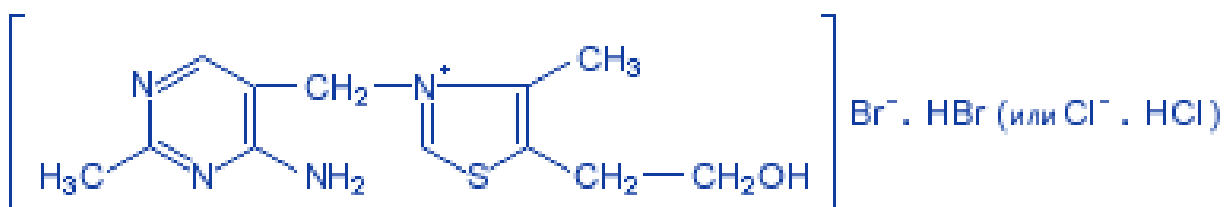
- перенос электронов (кофактор в реакциях карбоксилирования) участвует в активации факторов свертывания крови. Общее название группы веществ, включающей **филлохинон** и родственные соединения с модифицированной боковой цепью. Недостаток витамина К наблюдается довольно редко, так как эти вещества вырабатываются микрофлорой кишечника. Витамин К принимает участие в карбоксилировании остатков глютаминовой кислоты белков плазмы крови, что важно для нормализации или ускорения процесса свертывания крови. Процесс ингибируется антагонистами витамина К (например, производными кумарина), что находит применение как один из методов лечения *тромбозов*.

Жирорастворимые витамины входят в структуру мембранных систем, обеспечивая их оптимальное функциональное состояние.

В химическом отношении жирорастворимые витамины А, D, Е и К относятся к изопреноидам.

Водорастворимые витамины

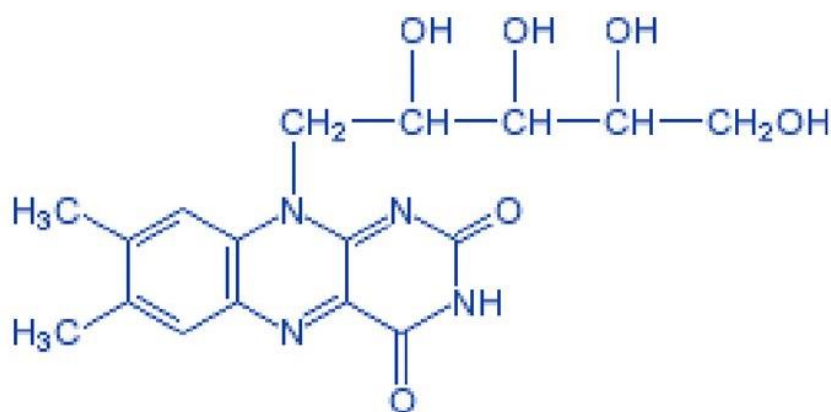
Витамин В₁ (тиамин)



– декарбоксилирование α -кетокислот, перенос активного альдегида (транскетолаза). Построен из двух циклических систем - *пиримидина* (шести-членный ароматический цикл с двумя атомами азота) и *тиазола* (пятичленный

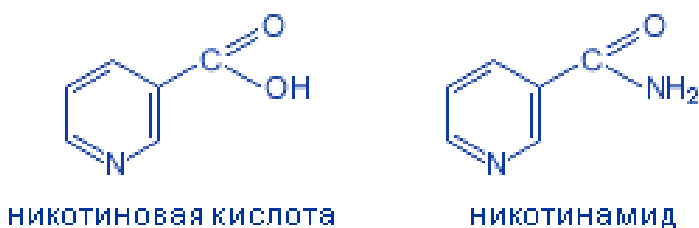
ароматический цикл, включающий атомы азота и серы), соединенных метиленовой группой. Активной формой витамина В1 является **тиаминдифосфат** (ТРР), выполняющий функцию кофермента при переносе гидроксильных групп («активированных альдегидов»), например, в реакции окислительного декарбоксилирования α -кетокислот, а также в транскетолазной реакции гексозомонофосфатного пути. При недостатке витамина В1 развивается болезнь *бери-бери*, признаками которой являются расстройства нервной системы (полиневриты), сердечнососудистые заболевания и мышечная атрофия.

Витамин В₂ (рибофлавин)



– дыхание, перенос водорода. комплекс витаминов, включающий рибофлавин, фолиевую, никотиновую и пантотеновую кислоты. **Рибофлавин** служит структурным элементом простетических групп флавинмоноклеотида [ФМН (FMN)] и флавинадениндинуклеотида [ФАД (FAD)]. **ФМН** и **ФАД** являются простетическими группами многочисленных оксидоредуктаз (дегидрогеназ), где выполняют функцию переносчиков водорода (в виде гидрид-ионов).

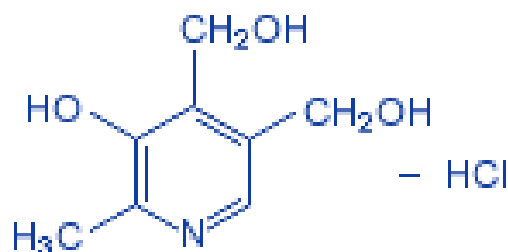
Витамин РР (никотиновая кислота)



- дыхание, перенос водорода. **Никотиновая кислота** (ниацин) и **никотинамид** (ниацинамид) (оба известны как витамин В₃, витамин РР) необходимы для биосинтеза двух коферментов - никотинамидадениндинуклеотида

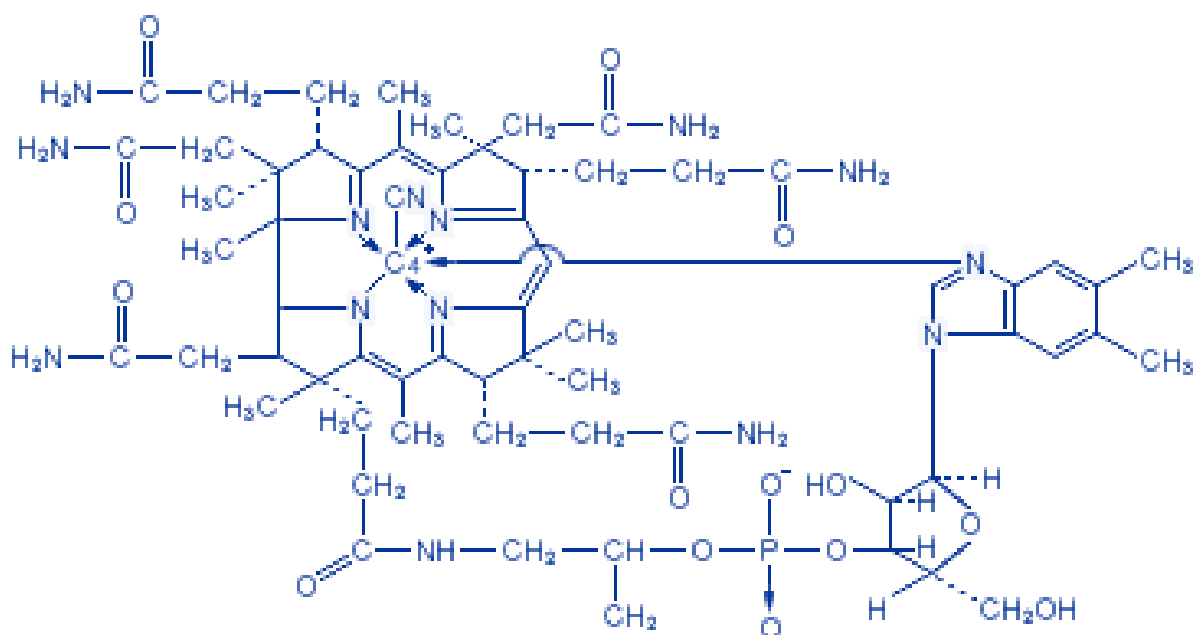
[НАД⁺ (NAD⁺)] и никотинамидадениндинуклеотидфосфата [НАДФ⁺ (NADP⁺)]. Главная функция этих соединений, состоящая в переносе гидрид-ионов (восстановительных эквивалентов), обсуждается в разделе, посвященном метаболическим процессам. В животных организмах никотиновая кислота может синтезироваться из *триптофана*, однако биосинтез идет с низким выходом. Поэтому витаминный дефицит наступает лишь в том случае, если в рационе одновременно отсутствуют все три вещества: никотиновая кислота, никотинамид и триптофан. Заболевания, связанные с дефицитом ниацина, проявляются поражением кожи (*пеллагра*), расстройством желудка и депрессией.

Витамин В₆ (пиридоксин)



– обмен аминокислот, перенос аминогрупп. Групповое название трех производных пиридина: **пиридоксаль**, **пиридоксина** и **пиридоксамина**. На схеме приведена формула иридоксаля, где в положении при C-4 стоит альдегидная группа (-CHO); в пиридоксине это место занимает спиртовая группа (-CH₂OH); а в пиридоксамине - метиламиногруппа (-CH₂NH₂). Активной формой витамина В₆ является **пиридоксаль-5-фосфат (PLP)**, важнейший кофермент в метаболизме аминокислот. Пиридоксальфосфат входит также в состав *гликоген-фосфорилазы*, принимающей участие в расщеплении гликогена. Дефицит витамина В₆ встречается редко.

Витамин В₁₂ (кобаламин)

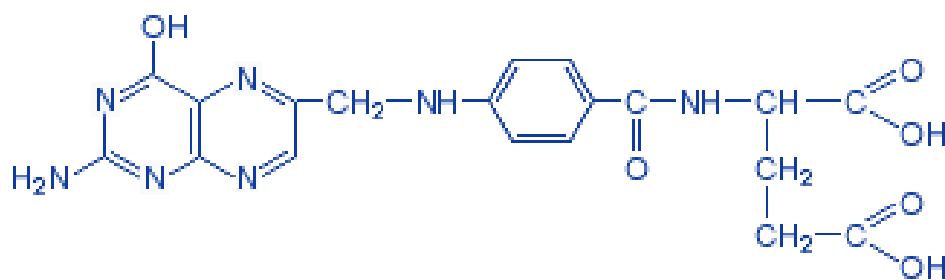


– кофермент ряда метаболических реакций переноса алкильных групп, метилирование цистеина. Комплексное соединение, имеющее в основе цикл *коррина* и содержащее координационно связанный ион кобальта. Этот витамин синтезируется лишь в микроорганизмах. Из пищевых продуктов он содержится в печени, мясе, яйцах, молоке и полностью отсутствует в растительной пище (на заметку вегетарианцам!). Витамин всасывается слизистой желудка только в присутствии секретируемого (эндогенного) гликопротеина, так называемого *внутреннего фактора*. Назначение этого мукопротеида заключается в связывании цианокобаламина и тем самым в защите от деградации. В крови цианокобаламин также связывается специальным белком, *транскобаламином*. В организме витамин B₁₂ запасается в печени.

Производные цианокобаламина являются коферментами, принимающими участие, например, в конверсии метилмалонил-КоА в сукцинил-КоА, биосинтезе метионина из гомоцистеина. Производные цианокобаламина принимают участие в восстановлении рибонуклеотидов бактериями до дезоксирибонуклеотидов.

Витаминный дефицит или нарушение всасывания витамина B₁₂ связаны главным образом с прекращением секреции внутреннего фактора. Следствием авитаминоза является *пернициозная анемия*.

Фолиевая кислота

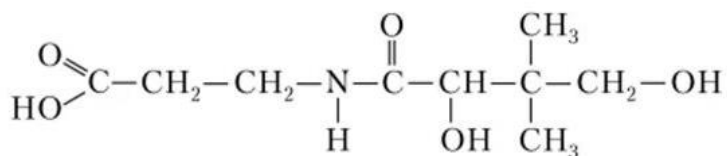


– транспорт одноуглеродных групп. Молекула **фолиевой кислоты** (витамин В₉, витамин Вс, фолацин, фолат) включает три структурных фрагмента: *производное птеридина*, *4-аминобензоат* и один или несколько остатков *глутаминовой кислоты*. Продукт восстановления фолиевой кислоты – тетрагидрофолиевая (фолиновая) кислота [ТГФ (ТНФ)] – входит в состав ферментов, осуществляющих перенос одноуглеродных фрагментов (С1-метаболизм).

Дефицит фолиевой кислоты встречается довольно часто. Первым признаком дефицита является нарушение эритропоэза (*мегалобластическая анемия*). При этом тормозятся синтез нуклеопротеидов и созревание клеток, появляются аномальные предшественники эритроцитов – мегалоциты. При остром недостатке фолиевой кислоты развивается генерализованное поражение тканей, связанное с нарушением синтеза липидов и обмена аминокислот.

В отличие от человека и животных микроорганизмы способны синтезировать фолиевую кислоту *de novo*. Потому рост микроорганизмов подавляется *сульфаниламидными препаратами*, которые как конкурентные ингибиторы блокируют включение 4-аминобензойной кислоты в биосинтез фолиевой кислоты. Сульфаниламидные препараты не могут оказывать воздействия на метаболизм животных организмов, поскольку они не способны синтезировать фолиевую кислоту.

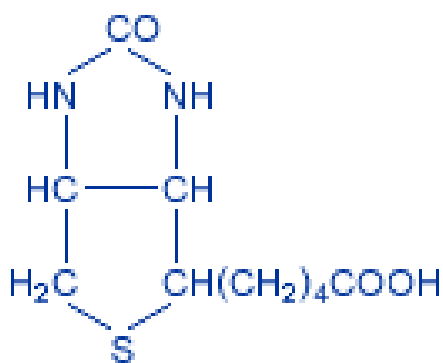
Витамин В₅ (пантотеновая кислота)



– транспорт ацильных групп. Представляет собой амид α,γ-дигидрокси-β,β-диметилмасляной кислоты (пантоевой кислоты) и β-аланина. Соединение

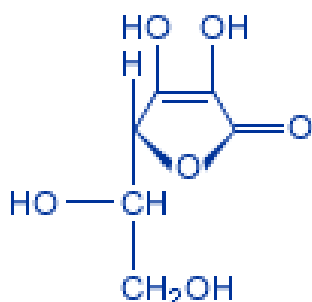
необходимо для биосинтеза *кофермента А* [КоА (СоА)] принимающего участие в метаболизме многих карбоновых кислот. Пантотеновая кислота также входит в состав простетической группы *ацилпереносящего белка* (АПБ). Поскольку пантотеновая кислота входит в состав многих пищевых продуктов, авитаминоз из-за дефицита витамина В₅ встречается редко.

Витамин Н (биотин)



– кофермент реакций карбоксилирования (транспорт CO₂). Содержится в печени, яичном желтке и других пищевых продуктах; кроме того, он синтезируется микрофлорой кишечника. В организме биотин (через ε-аминогруппу остатка лизина) связан с ферментами, например с *пируваткарбоксилазой* (КФ 6.4.1.1), катализирующими реакцию карбоксилирования. При переносе карбоксильной группы два N-атома молекулы биотина в АТФ-зависимой реакции связывают молекулу CO₂ и переносят ее на акцептор. Биотин с высоким сродством (K_d = 10⁻¹⁰ - 10⁻¹⁵ М) и специфичностью связывается *авидином* белка куриного яйца. Так как авидин при кипячении денатурируется, дефицит витамина Н может наступить только при употреблении в пищу сырых яиц.

Витамин С



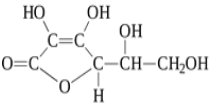
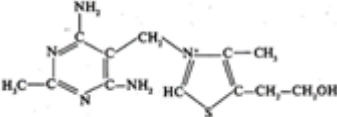
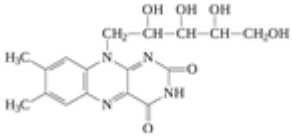
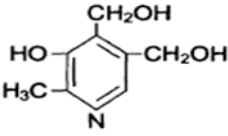
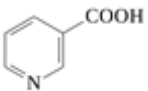
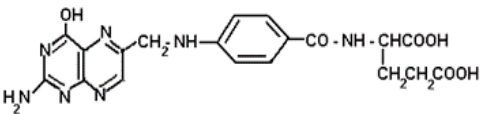
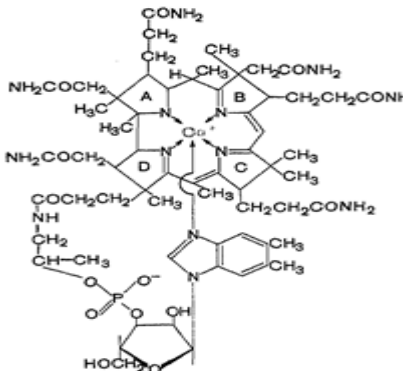
— антиоксидант, восстанавливающий кофактор для ряда оксигеназ, гидроксирование пролина, лизина, катаболизм тирозина. Представляет собой γ-лактон 2,3-дегидрогулоновой кислоты. Обе гидроксильные группы имеют кислотный характер, в связи с чем при потере протона соединение может существовать в форме **аскорбат-аниона**. Ежедневное поступление аскорбиновой кислоты необходимо человеку, приматам и морским свинкам, поскольку у этих видов отсутствует фермент *гулолактон-оксидаза* (КФ 1.1.3.8), катализирующий последнюю стадию конверсии глюкозы в аскорбат.

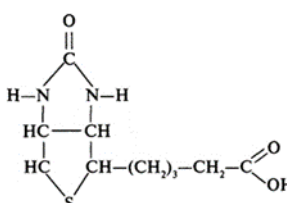
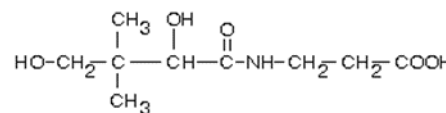
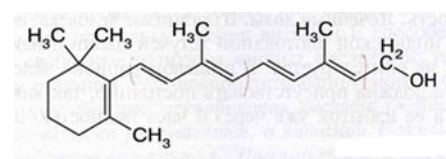
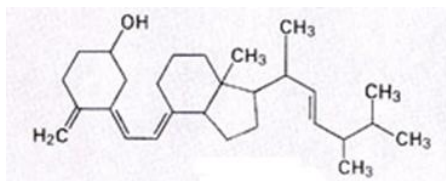
Источником витамина С являются свежие фрукты и овощи. Аскорбиновую кислоту добавляют во многие напитки и пищевые продукты в качестве антиоксиданта и вкусовой добавки. Витамин С медленно разрушается в воде. Аскорбиновая кислота в качестве сильного восстановителя принимает участие во многих реакциях (главным образом в реакциях гидроксирования).

Из биохимических процессов с участием аскорбиновой кислоты следует упомянуть *синтез коллагена, деградацию тирозина, синтеза катехоламина и желчных кислот*. Суточная потребность в аскорбиновой кислоте составляет 60 мг - величина, не характерная для витаминов. Сегодня дефицит витамина С встречается редко. Дефицит проявляется спустя несколько месяцев в форме цинги (скорбута). Следствием заболевания являются атрофия соединительных тканей, расстройство системы кроветворения, выпадение зубов.

Суточная потребность в витаминах и их основные функции

Витамин	Суточная потребность	Функции	Основные источники
---------	----------------------	---------	--------------------

Аскорбиновая кислота (C) 	50-100 мг	Участвует в окислительно-восстановительных процессах, повышает сопротивляемость организма к экстремальным воздействиям	Овощи, фрукты, ягоды. В капусте - 50 мг. В шиповнике - 30-2000 мг.
Тиамин, аневрин (B₁) 	1,4-2,4 мг	Необходим для нормальной деятельности центральной и периферической нервной системы	Пшеничный и ржаной хлеб, крупы - овсяная, горох, свинина, дрожжи, кишечная микрофлора.
Рибофлавин (B₂) 	1,5-3,0 мг	Участвует в окислительно-восстановительных реакциях	Молоко, творог, сыр, яйцо, хлеб, печень, овощи, фрукты, дрожжи.
Пиридоксин (B₆) 	2,0-2,2 мг	Участвует в синтезе и метаболизме аминокислот, жирных кислот и ненасыщенных липидов	Рыба, фасоль, пшено, картофель
Никотиновая кислота (PP) 	15,0-25,0 мг	Участвует в окислительно-восстановительных реакциях в клетках. Недостаточность вызывает пеллагру	
Фолиевая кислота, фолицин (Bc) 	0,2-0,5 мг	Кроветворный фактор, участвует в синтезе аминокислот, нуклеиновых кислот	Петрушка, салат, шпинат, творог, хлеб, печень
Цианкобаламин (B₁₂) 	2-5 мг	Участвует в биосинтезе нуклеиновых кислот, фактор кроветворения	Печень, почки, рыба, говядина, молоко, сыр

Биотин (H) 	0,1-0,3 мг	Участвует в реакциях обмена аминокислот, липидов, углеводов, нуклеиновых кислот	Овсяная крупа, горох, яйцо, молоко, мясо, печень
Пантотеновая кислота (B₅) 	5-10 мг	Участвует в реакциях обмена белков, липидов, углеводов	Печень, почки, гречка, рис, овес, яйца, дрожжи, горох, молоко, кишечная микрофлора
Ретинол (A) 	0,5-2.5 мг	Участвует в деятельности мембран клеток. Необходим для роста и развития человека, для функционирования слизистых оболочек. Участвует в процессе фоторецепции - восприятии света	Рыбий жир, печень трески, молоко, яйца, сливочное масло
Кальциферол (D) 	2,5-10 мкг	Регуляция содержания кальция и фосфора в крови, минерализация костей, зубов	Рыбий жир, печень, молоко, яйца

4. Обмен кальция при участии жирорастворимых витаминов

Когда мы говорим о кальциевом обмене, то надо понимать, что для организма главной задачей является поддержание необходимого уровня кальция в крови, а не в костях.

Кости же являются своего рода кальциевым депо, откуда при необходимости под влиянием паратгормона (гормона паращитовидных желез) происходит моментальное вымывание кальция, чем и обеспечивается постоянное поддержание его на определенном уровне.

Если витамина D в организме достаточно, то всасывание кальция, поступающего с пищей, в кишечнике усиливается, что ведет к нормализации его

уровня в плазме крови; естественно, в таких условиях организму уже нет необходимости вымывать его из костей.

На этом этапе вступает в действие второй активный метаболит витамина D, который снижает секрецию паратгормона, стимулирующего разрушение костных структур с одной только целью — не дать снизиться уровню кальция в крови ниже критического уровня, иначе организм погибнет.

Витамин D влияет, также, на работу почечных канальцев, увеличивая реабсорбцию (т.е. обратное всасывание в кровь) ионов кальция и фосфата.

Таким образом, основной эффект витамина D на костную ткань — *это обеспечение и сохранение непрерывного потока в организм кальция и фосфора для отложения их в костях и укрепления костных структур.*

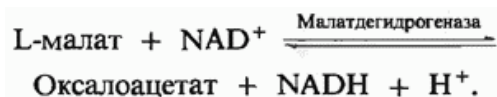
Одним из проявлений недостаточности витамина D служит мышечная слабость.

Витамин D, *регулируя кальциевый обмен, способствует улучшению передачи нервно-мышечных импульсов, увеличивает силу мышц и предупреждает разрушение их у пожилых людей, т.е. замедляет развитие возрастной саркопении.*

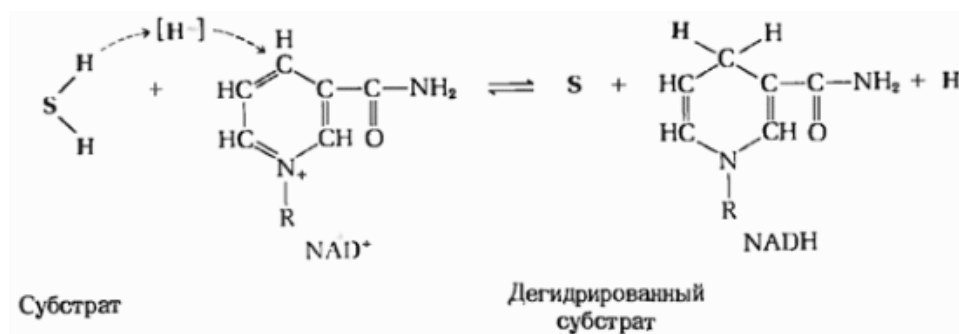
5. Никотинамид как активная группа коферментов НАД.

Никотинамид - компонент двух близких по структуре коферментов-никотинамидадениндинуклеотида (NAD) и никотинамидадениндинуклеотид фосфата (NADP). Строение NADP отличается от NAD наличием в молекуле фосфатной группы. Эти коферменты могут находиться как в окисленной так и в восстановленной (NADH и NADPH) формах. Никотинамидный компонент этих коферментов играет роль промежуточного переносчика гидрид-иона, который ферментативно отщепляется от молекулы субстрата под действием специфических дегидрогеназ. В качестве примера можно привести реакцию, катализируемую малатдегидрогеназой, которая дегидрирует малат, превращая его в оксалоацетат; эта реакция представляет собой один из этапов окисления углеводов и жирных кислот. Малатдегидрогеназа катализирует также обратимый перенос гидрид-иона от малата к в результате чего образуется NADH;

второй атом водорода отщепляется от гидроксильной группы молекулы малата в виде свободного иона



Известно большое число дегидрогеназ такого типа, из которых каждая обладает специфичностью по отношению к какому-нибудь определенному субстрату. Одни из этих ферментов используют в качестве кофермента другие - а третьи могут функционировать с любым из этих двух коферментов.



Общее уравнение, показывающее, как действует в качестве кофермента в реакциях ферментативного дегидрирования. Молекула субстрата и продукты реакции выделены красным цветом. Изображена только иикотинамидная часть молекулы остальная же ее часть обозначена буквой R.

У большинства дегидрогеназ NAD (или NADP) связывается с белковой частью фермента только во время каталитического цикла, однако известны и такие ферменты, с которыми эти коферменты связаны очень прочно и постоянно присутствуют в активном центре.

6. Строение НАД (Н) и его роль в биоэнергетике живой клетки.

Никотинамидадениндинуклеотид (НАД), называемый также дифосфопиридиннуклеотидом (ДПН), состоит из никотинамида, рибозы и фосфата, присоединенных к адениннуклеотиду (состоящему из фосфата, рибозы и аденина). НАД имеет первостепенное значение как первичный акцептор электронов и водорода в окислительных реакциях, протекающих внутри клетки. Фер-

менты дегидрогеназы отнимают электроны и водород от молекул таких веществ, как, например, молочная кислота, и переносят их на НАД, который в свою очередь передает их другим акцепторам электронов. Отличие его от другого важнейшего кофермента — никотинамидадениндинуклеотидфосфата, или NADP, в том, что последний содержит в молекуле ещё один остаток фосфорной кислоты, связанной с 21-углеродным атомом рибозы.

Никотинамидадениндинуклеотидфосфат (НАДФ) — широко распространённый в природе кофермент некоторых дегидрогеназ — ферментов, катализирующих окислительно-восстановительные реакции в живых клетках. НАДФ принимает на себя водород и электроны окисляемого соединения и передаёт их на другие вещества. НАДФ — кофермент, отличающийся от НАД содержанием ещё одного остатка фосфорной кислоты, присоединённого к гидроксилу одного из остатков D-рибозы. Обнаружен во всех типах клеток.

Флавинадениндинуклеотид (ФАД) (состоящий из соединённых в цепочку рибофлавина, рибита, двух фосфатных групп, рибозы и аденина) служит акцептором водорода и электронов для некоторых других дегидрогеназ.

Следует особо отметить, что в состав этих динуклеотидов входят витамины — никотинамид и рибофлавин. Такие вещества, как НАД, НАДФ и ФАД, называются коферментами; они необходимы для функционирования определенных ферментных систем, но очень непрочны связаны с молекулой фермента и легко отщепляются от нее. Присоединяя электроны и атомы водорода, они переходят из окисленной формы в восстановленную, передавая электроны следующему акцептору в цепи дыхательных ферментов, кофермент снова переходит в окисленную форму.

Контрольные вопросы:

1. В чём заключается биологическая роль витаминов?
2. На какие группы делятся витамины?

Рекомендуемая литература:

1. Комов, В. П. Биохимия: учебник для вузов / В. П. Комов, В. Н. Шведова; под общей редакцией В. П. Комова. — 4-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2026. — 684 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-13939-6. — Текст: электронный. — URL: <https://urait.ru/bcode/588486>
2. Биохимия: учебное пособие / Ф.Н. Гильмиярова [и др.]. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2025. — 418 с. — ISBN 978-5-4497-4113-4. — Текст: электронный. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/148306.html>
3. Динамическая биохимия: практикум / составитель В. А. Гордеева. — Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2024. — 84 с. — ISBN 978-5-4497-2876-0. — Текст : электронный. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/138436.html>