

Физиология пищеварения

1. Морфофункциональная организация и функции пищеварительной системы

- **Желудочно-кишечный тракт (ЖКТ)**
 - Полость рта, глотка, пищевод, желудок, тонкая и толстая кишки, печень с желчным пузырем, поджелудочная железа (длина – 9 м).
- **Пищеварительные железы и дополнительные структуры**
 - Зубы, язык, слюнные железы, печень с желчным пузырем, поджелудочная железа



Типы пищеварения

- **полостное** - ферментами находящимися в полости пищеварительного канала;
- **мембранное или пристеночное** - ферментами адсорбированными на мембранах клеток пищеварительного канала;
- **клеточное** - ферментами клеток.

Функции

- **Секреторная** (экзокринная) - выработка пищеварительных соков, необходимых для гидролиза компонентов пищи;
- **Моторная** - обеспечивает механическую переработку пищи, ее перемещение по пищеварительному каналу и выведение непереваренных продуктов;
- **Всасывательная** - всасывание из ЖКТ продуктов гидролиза;
- **Экскреторная** – выведение непереваренных остатков и продуктов обмена веществ;
- **Гормональная** – секреция местных гормонов, участвующих в регуляции пищеварения и других физиологических процессов.

2. Моторная функция пищеварительной системы

2.1. Жевание

Функции: жевание обеспечивает

- механическую обработку пищи в ротовой полости: откусывание, дробление, перетирание;
- смачивание пищи слюной и перемешивание,
- формирование пищевого комка (этапный результат пищеварения в ротовой полости).

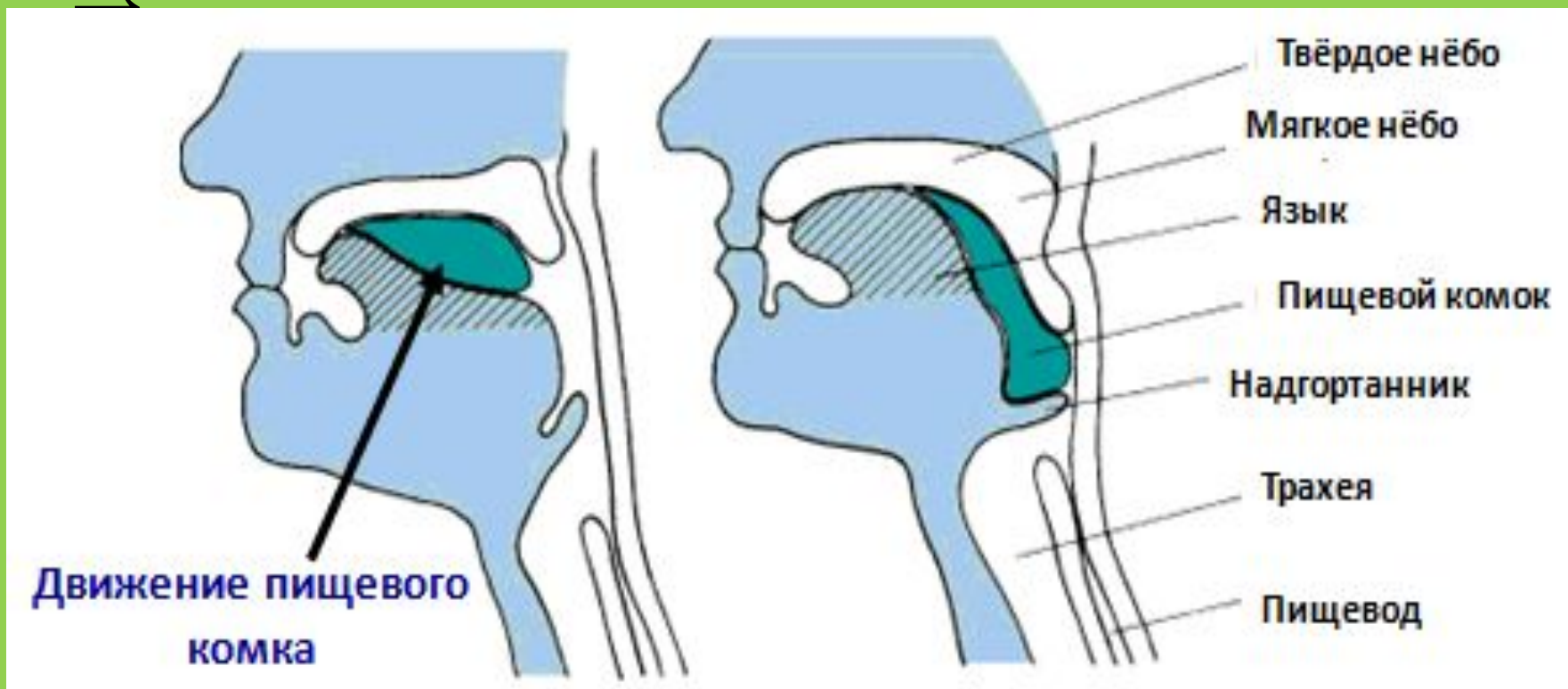
Механизм

- Координированные сокращения жевательных мышц, обеспечивающие движения зубов, языка, щек, и дна полости рта.
- Сложнорефлекторный акт:
 - Безусловные рефлексы с механорецепторов периодонта зубов и слизистой рта (НЦ в продолговатом мозге).
 - Условнорефлекторные механизмы - произвольная регуляция жевательного акта.

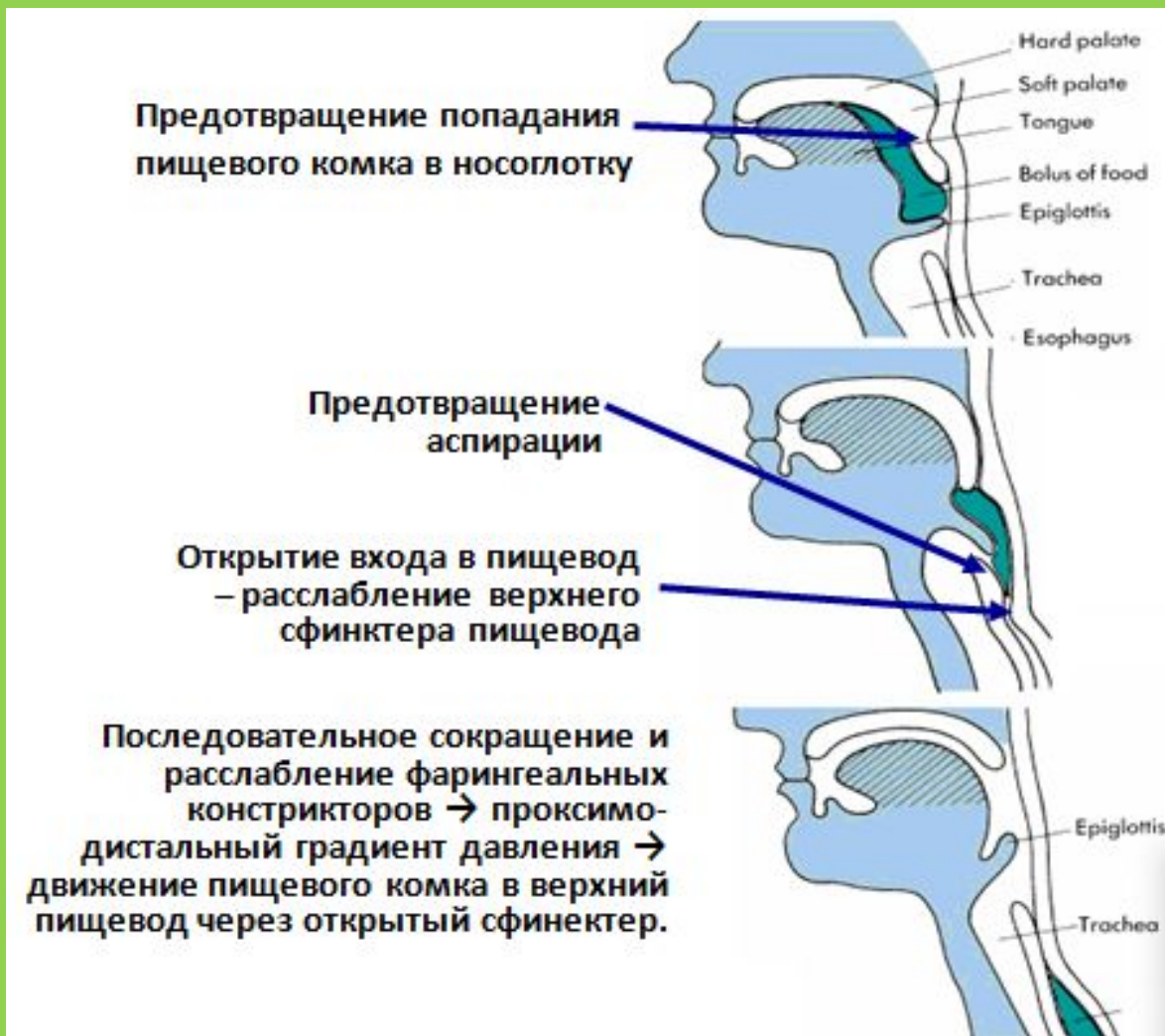
2.2. Глотание

Фазы

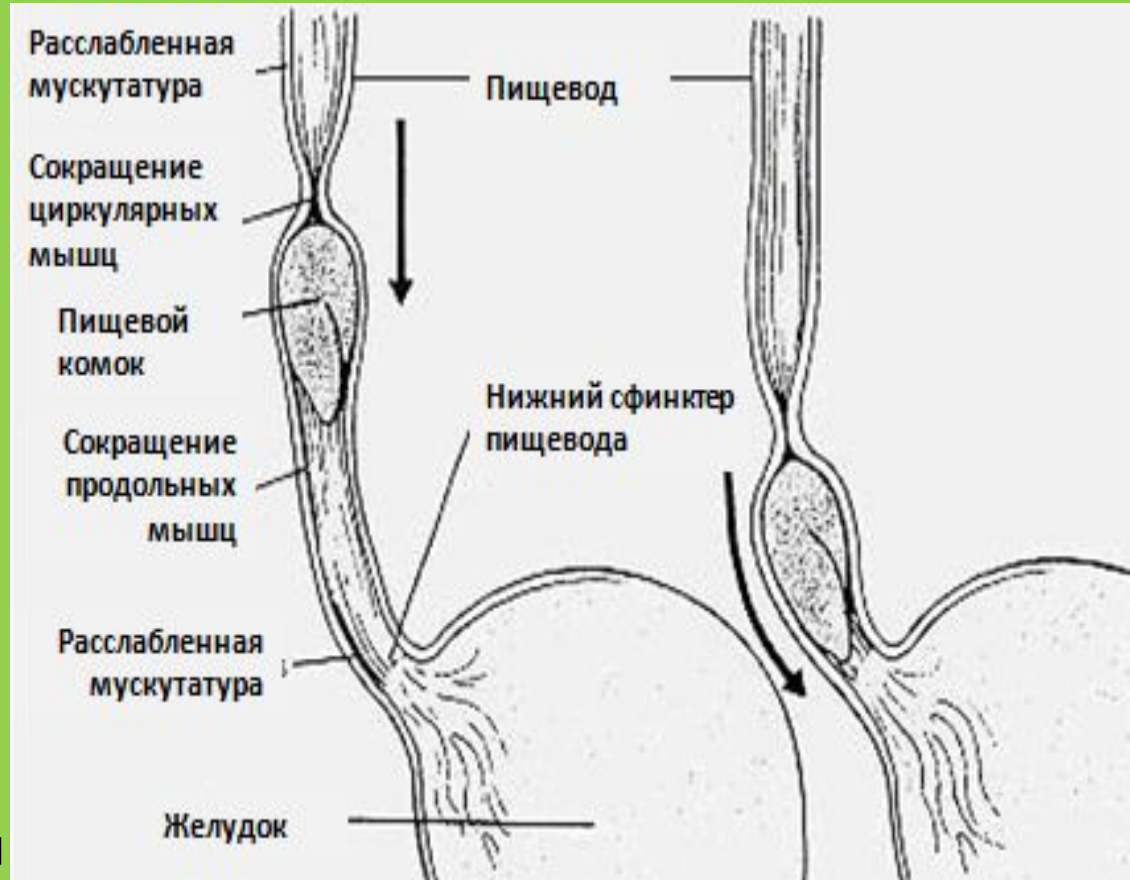
- **Ротовая произвольная** – передвижение пищевого комка к корню языка и нёбным дужкам → раздражение механорецепторов



- **Глоточная быстрая непроизвольная** - мягкое небо рефлекторно поднимается и закрывает вход в носоглотку; одновременно гортань поднимается, а надгортанник опускается, закрывая вход в гортань. Пищевой комок проталкивается в расширившуюся глотку.



- **Медленная непроизвольная пищеводная фаза** – начинается с расслабления верхнего сфинктера пищевода; продвижение пищевого комка за счет **перистальтики** - циркулярные мышцы пищевода сокращаются выше пищевого комка и расслабляются ниже него → Волна сокращения-расслабления распространяется к желудку. → Расслабляется нижний пищеводный сфинктер и кардиальный сфинктер, пропуская комок в желудок. (Вне глотания эти сфинктеры закрыты и служит для предотвращения заброса в пищевод желудочного содержимого – рефлюкса)..



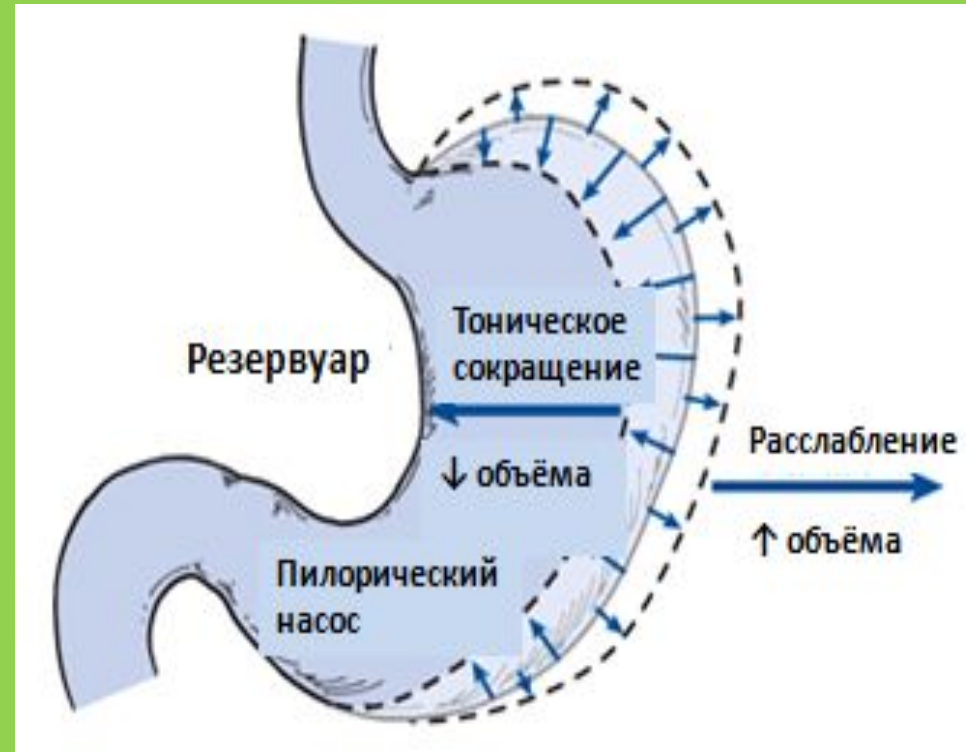
2.3. Моторная функция желудка

Моторные функции желудка

- Резервуарная – временное хранение пищи.
- Перемешивание и измельчение
- Передвижение
- Медленное опорожнение

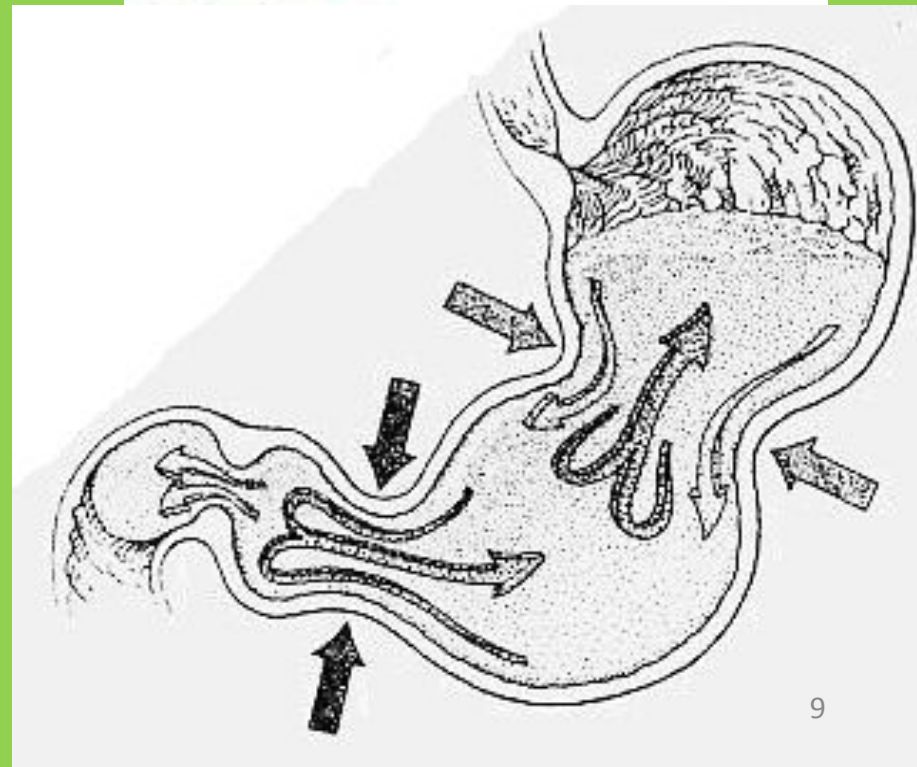
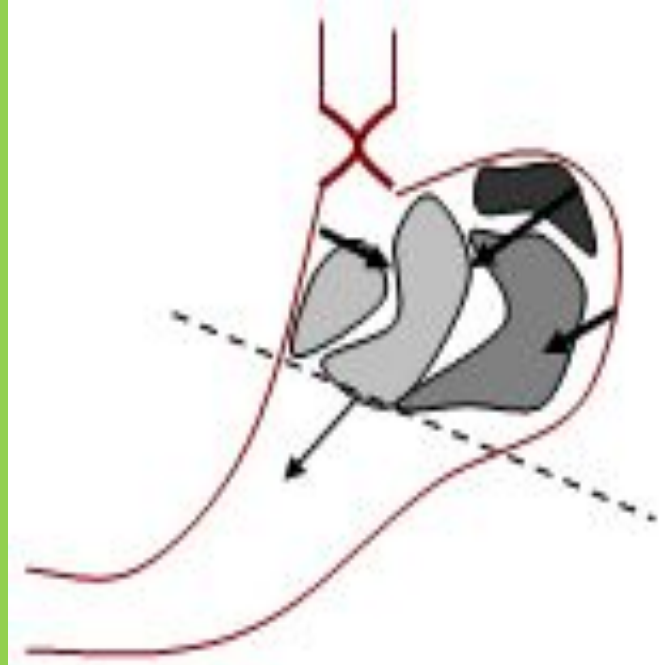
Виды сокращений желудка

- **В междигистивный период**
 - Тонические сокращения
 - Мигрирующий моторный комплекс



- **Во время пищеварения**

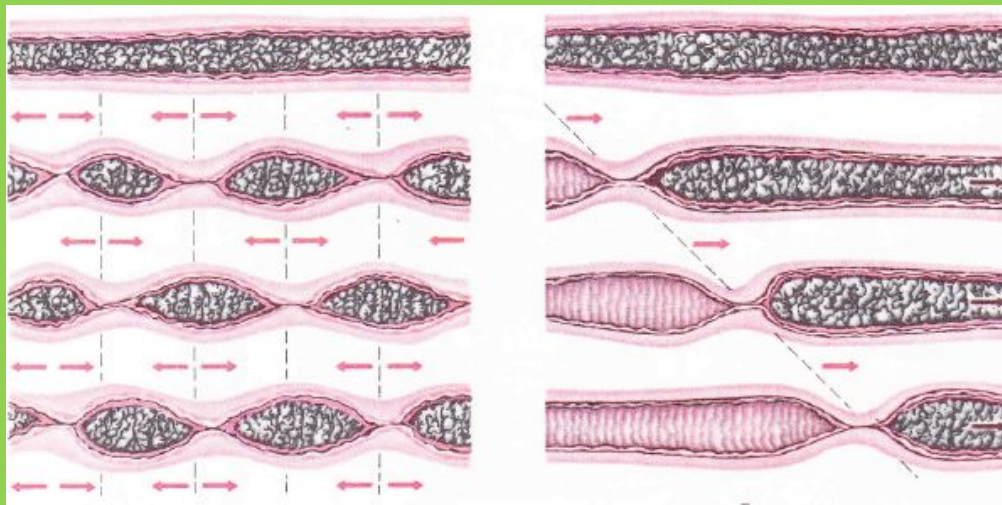
- Рецептивное расслабление
- Тонические сокращения проксимального отдела.
- Перистальтические сокращения.
- Антиперистальтические сокращения.
- Пропульсивные сокращения - сильные сокращения антрального и пилорического отделов, обеспечивающие переход химуса в двенадцатиперстную



2.4. Моторная функция толстого и тонкого кишечника

Типы сокращений тонкого кишечника

- **Перемешивающие сокращения**
 - Непропульсивная перистальтика – на небольшое расстояние.
 - Ритмическая сегментация- местные сокращения циркулярных мышц, в результате которых на кишечнике образуются множественные перетяжки разделяющие его на небольшие сегменты. Место расположения перетяжек постоянно меняется.
 - Маятникообразные сокращения - попеременные сокращения и расслабления продольного слоя мышц участка кишки.
- **Пропульсивные сокращения**
 - Пропульсивная перистальтика – обеспечивает продвижение химуса в дистальном направлении и в толстый кишечник.



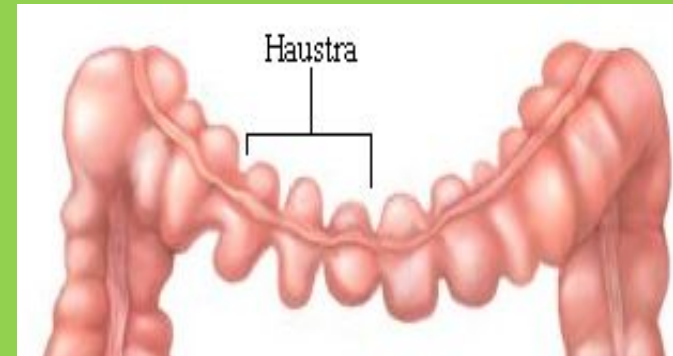
Виды сокращений толстого кишечника

- **Перемешивающие сокращения**

- маятникообразные;
- ритмическая сегментация;
- волны гаустрации - вздутия (гаустры) кишки, возникающие вследствие локального сокращения и расслабления продольных и циркулярных мышц (соответствует непропульсивной перистальтике и также служит для передвижения содержимого).

- **Пропульсивные**

- пропульсивная перистальтика и (возникает 2-3 раза в день и способствует быстрому переходу содержимого в сигмовидную и прямую кишку)



3. Секреторная функция ЖКТ

3.1. Пищеварение в ротовой полости. Состав и свойства слюны. Слюноотделение

Функции ротовой полости

- Механическая обработка и формирование пищевого комка.
- Рецепторная
- Всасывание некоторых веществ (глюкоза и алкоголь).
- Незначительная химическая обработка пищи.
- Образование звуков.

Слюна

- Секретируется 3 парами крупных слюнных желез: околоушных, подчелюстных и подъязычных и мелкими железами слизистой языка, щек и неба.
- Характеристики
 - Объём секретиции - около 1,5 литров в сутки.
 - pH 5,8 - 8,0.
 - Осмотическое давление слюны ниже, чем крови.
- Состав
 - 99% воды
 - 1% сухого остатка.
 - минеральные вещества (катионы калия, натрия, кальция, магния; анионы хлора, роданата (SCN-), гидрокарбонат, фосфат анионы);
 - простые органические вещества (мочевина, креатинин, глюкоза);
 - ферменты (α-амилаза, мальтаза, липаза, калликреин, лизоцим);
 - белки (иммуноглобулины);
 - муцин - мукополисахарид, придающий слюне слизистые свойства.

Функции слюны:

- **Защитная роль**
 - Увлажнение слизистой рта; муцин препятствует ее механическому раздражению. Увлажнение слизистой облегчает произнесение звуков и создаёт чувство комфорта в ротовой полости. Сухость слизистой вызывает жажду.
 - Антибактериальная (лизоцим, роданат, иммуноглобулины и нуклеазы).
 - Смывание, разведение и удаление отвергаемых веществ.
 - Нейтрализация кислот (бикарбонат).
- **Растворение** некоторых компонентов пищи; способствует формированию вкусовых ощущений (только растворённые вещества имеют вкус).
- Склеивание пищевых частиц, **формирование пищевого комка**.
- **Участие в гидролизе углеводов:**
 - α -амилаза расщепляет крахмал до декстринов (незначительная роль в ротовой полости; продолжение гидролиза углеводов внутри пищевого комка в желудке - активна только в щелочной и нейтральной среде).
 - Мальтаза гидролизует дисахариды мальтозу и сахарозу до глюкозы.
 - Лингвальная липаза – гидролиз жиров (актуально у младенцев).
- **Поддержание минерализации** зубов т.к. содержит фосфор и кальций.
- **Экскреторная** - со слюной выделяется небольшое количество продуктов белкового обмена - мочевины, мочевая кислота, креатинин, а также соли тяжелых металлов.

Механизмы регуляции слюноотделения

- **Основное значение** - условно- и безусловнорефлекторные механизмы.
 - Оба отдела ВНС стимулируют секрецию слюны: **парасимпатическая система** – выделение большого количества жидкой слюны; **симпатическая** - небольшого объема слизистой.
 - **Гуморальная регуляция**
 - ↑ секреции - ацетилхолин и гистамин;
 - ↓ - тироксин. Калликреин слюнных желез стимулирует образование брадикинина → расширение сосудов желез и ↑ секреции слюны

3.2. Пищеварение в желудке. Состав и свойства желудочного сока. Регуляция секреции



Секреторные клетки желудка

- **Поверхностные эпителиальные клетки**
 - Секретируют видимую слизь.
- **Тубулярные железы (собственные железы желудка) (дно и тело желудка)**
 - Слизистые шейечные клетки
 - секретируют растворимую слизь
 - Parietalные клетки – соляную кислоту
 - Главные клетки – пепсиногены (ферменты)



Функции желудка

- Депонирующая (до несколько часов)
- Секреторная – секреция желудочного сока
- Моторная.
- Всасывательная (небольшое количество воды, глюкозы, АК, спиртов).
- Экскреторная (выделение мочевины, креатинина, солей тяжелых металлов).
- Инкреторная или гормональная (гормоны - гастрин, гистамин, мотилин).
- Защитная – барьер для патогенной микрофлоры, вредных пищевых веществ (рвота).

- **Ферменты**

- **Пепсиногены** (протеазы – гидролизуют протеины). Секретируются в неактивном виде (зимогены). Активируются до пепсинов соляной кислотой и аутокаталитически. Гидролизуют белки до пептонов и полнпептидов.
- **Желудочная липаза** расщепляет эмульгированные жиры молока (актуально у детей).
- **Лизоцим** – антимикробное действие
- **Соляная кислота. Функции**
 - активирует пепсиногены;
 - создает оптимальную реакцию среды для действия пепсинов;
 - вызывает денатурацию и разрыхление белков, обеспечивая доступ пепсинов к белковым молекулам;
 - способствует створаживанию молока, т.е. образованию из растворенного казеиногена, нерастворимого казеина;
 - обладает антибактериальным действием;
 - стимулирует моторику желудка и секрецию желудочных желез;
 - способствует выработке в двенадцатиперстной кишке желудочно-кишечных гормонов.
 - способствует всасыванию ионов кальция и железа.
- **Муцин** (слизь) защищает слизистую желудка от механических повреждений и переваривающего действия сока; содержит **внутренний фактор Кастла** - гастромукопротеид необходим для всасывания витамина В₁₂, обеспечивающего нормальный эритропоэз.

Регуляция желудочной секреции

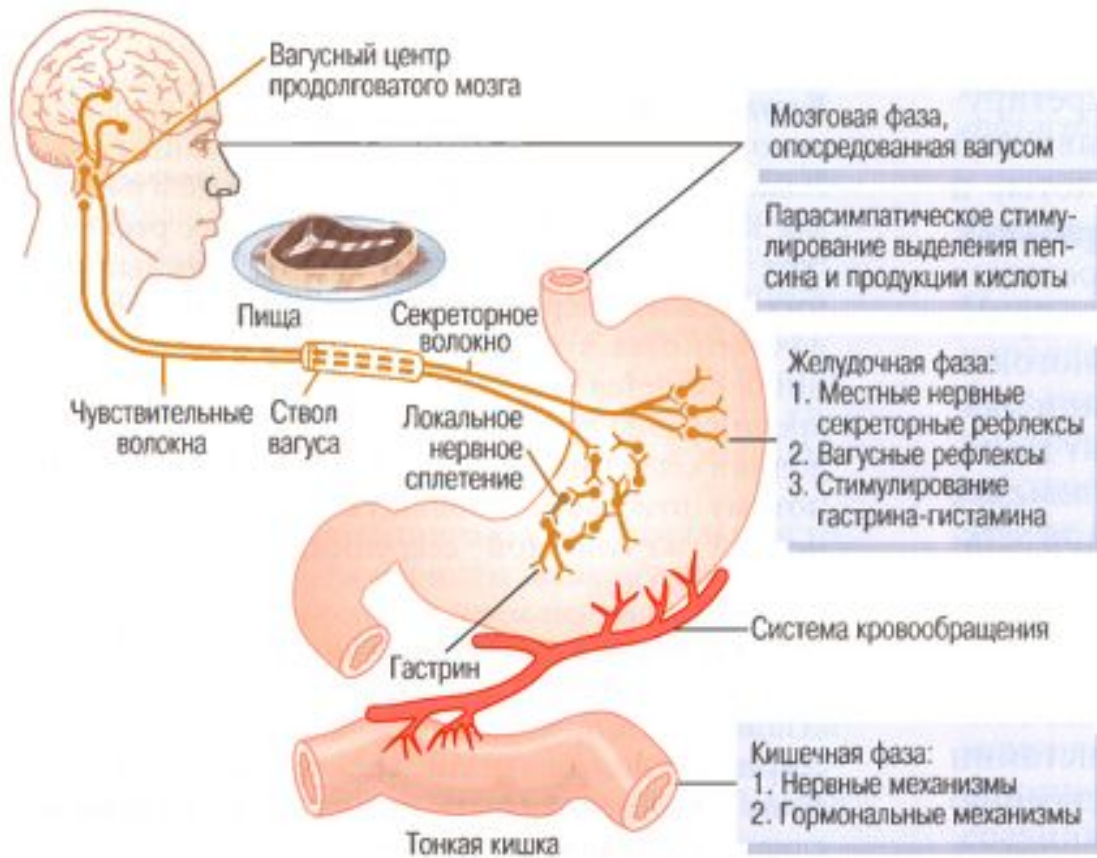
- 3 фазы нейрогуморальных механизмов.

- **Сложнорефлекторная (мозговая) фаза**

- Условнорефлекторный компонент - запальный желудочный сок (высокая кислотность и большая протеолитическая активность).
- Безусловнорефлекторный компонент.

- **Желудочная фаза** секреции начинается с поступления пищевого комка в желудок.

- **Кишечная фаза** начинается при переходе кислого химуса в двенадцатиперстную кишку.



Нервная регуляция

Блуждающий нерв (медиатор ацетилхолин) усиливает секрецию и моторику желудка. Симпатические нервы (медиатор норадреналин) – тормозят.

Гуморальная регуляция

Гастрин, гистамин, мотиллин стимулируют секрецию и моторику желудка;
Соматостатин, ХЦК-ПЗ, гастрон, секретин –

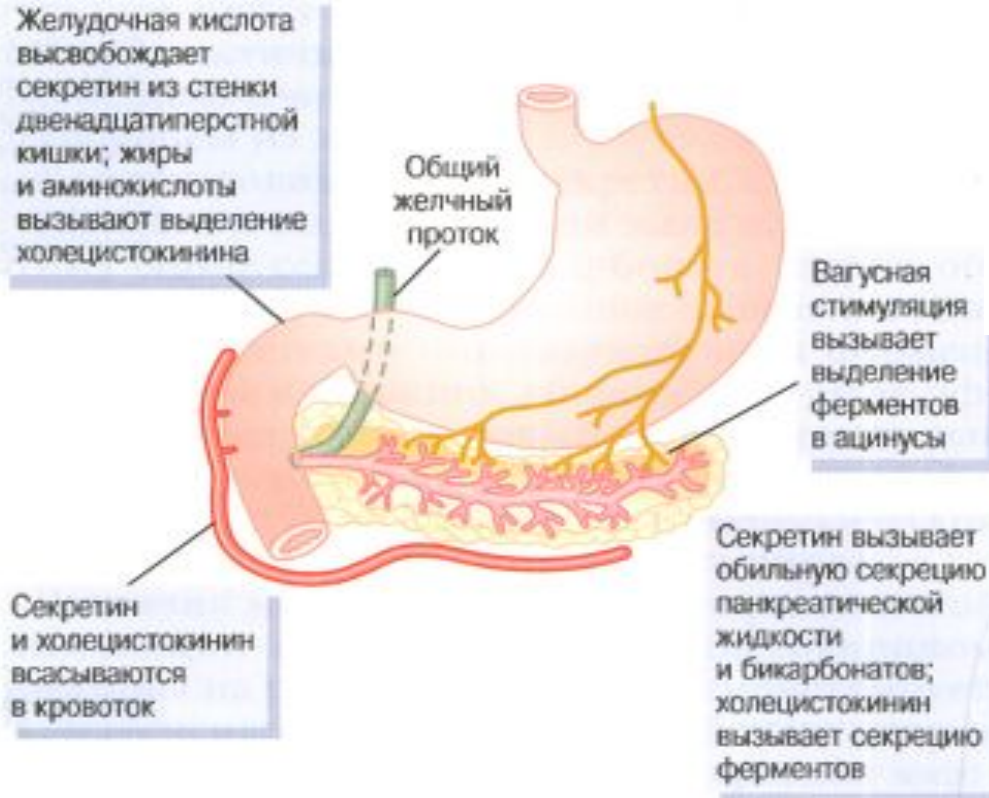
Экзокринная функция поджелудочной железы

Состав и свойства поджелудочного сока

- **Гидрокарбонат натрия** - определяет щелочную реакцию сока; нейтрализация кислого химуса желудка; создание оптимальной среды для действия панкреатических и кишечных ферментов с рН=7-8. 2.
- **Ферменты.**
 - **Пептидазы:** трипсин, химотрипсин и эластаза, карбоксипептидазы. Секретируются в неактивной форме в виде трипсиногена, химотрипсиногена, и прокарбоксипептидаз. Трипсиноген активируется ферментом энтерокиназой. Первоначально образовавшийся трипсин в дальнейшем осуществляет активацию остального трипсиногена и других проферментов поджелудочного сока.
 - **Липазы:** панкреатическая липаза и фосфолипаза А. Липаза расщепляет нейтральные жиры до жирных кислот и глицерина, а фосфолипаза - фосфолипиды.
 - **Карбогидразы:** α-амилаза расщепляет крахмал до мальтозы.
 - **Нуклеазы.** ДНК-аза и РНК-аза гидролизуют нуклеиновые кислоты до нуклеотидов.

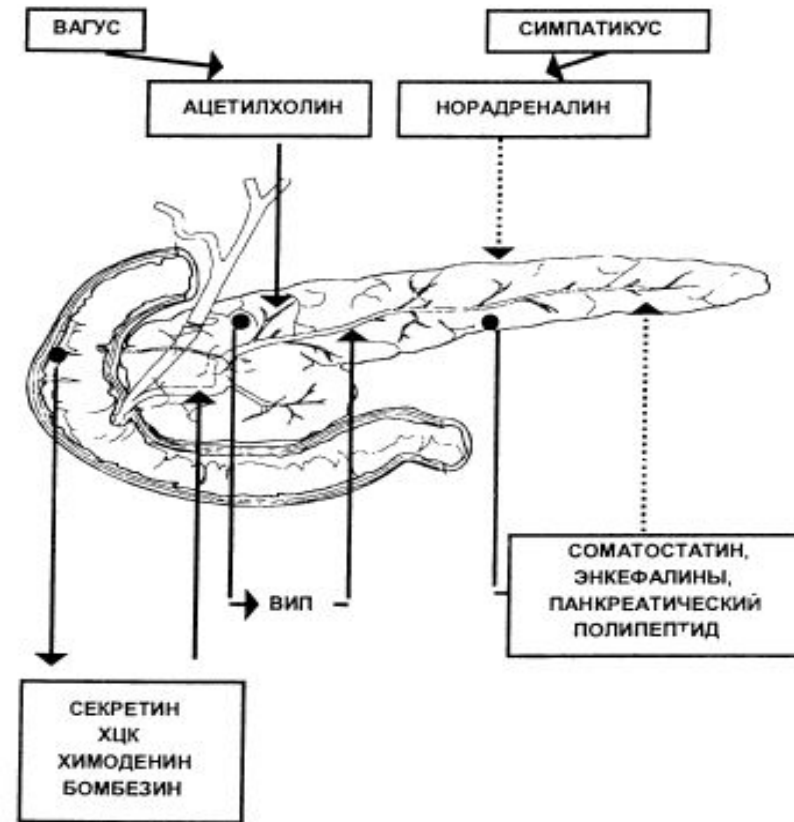
Фазы поджелудочной секреции

- Сложнорефлекторная фаза
- Желудочная фаза.
- Кишечная фаза.



СТИМУЛЯЦИЯ

ПОДАВЛЕНИЕ

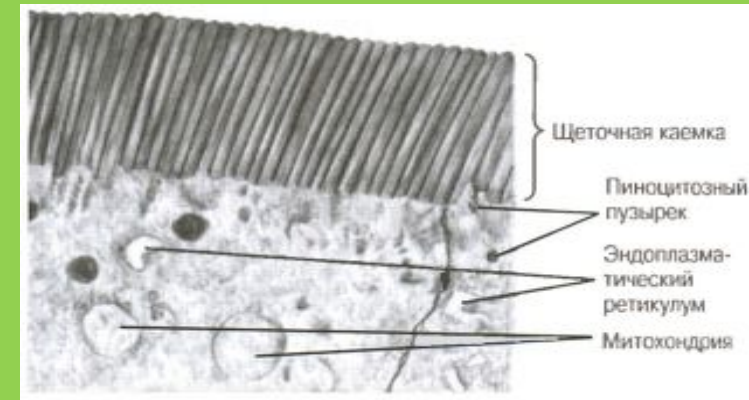


Кишечный сок

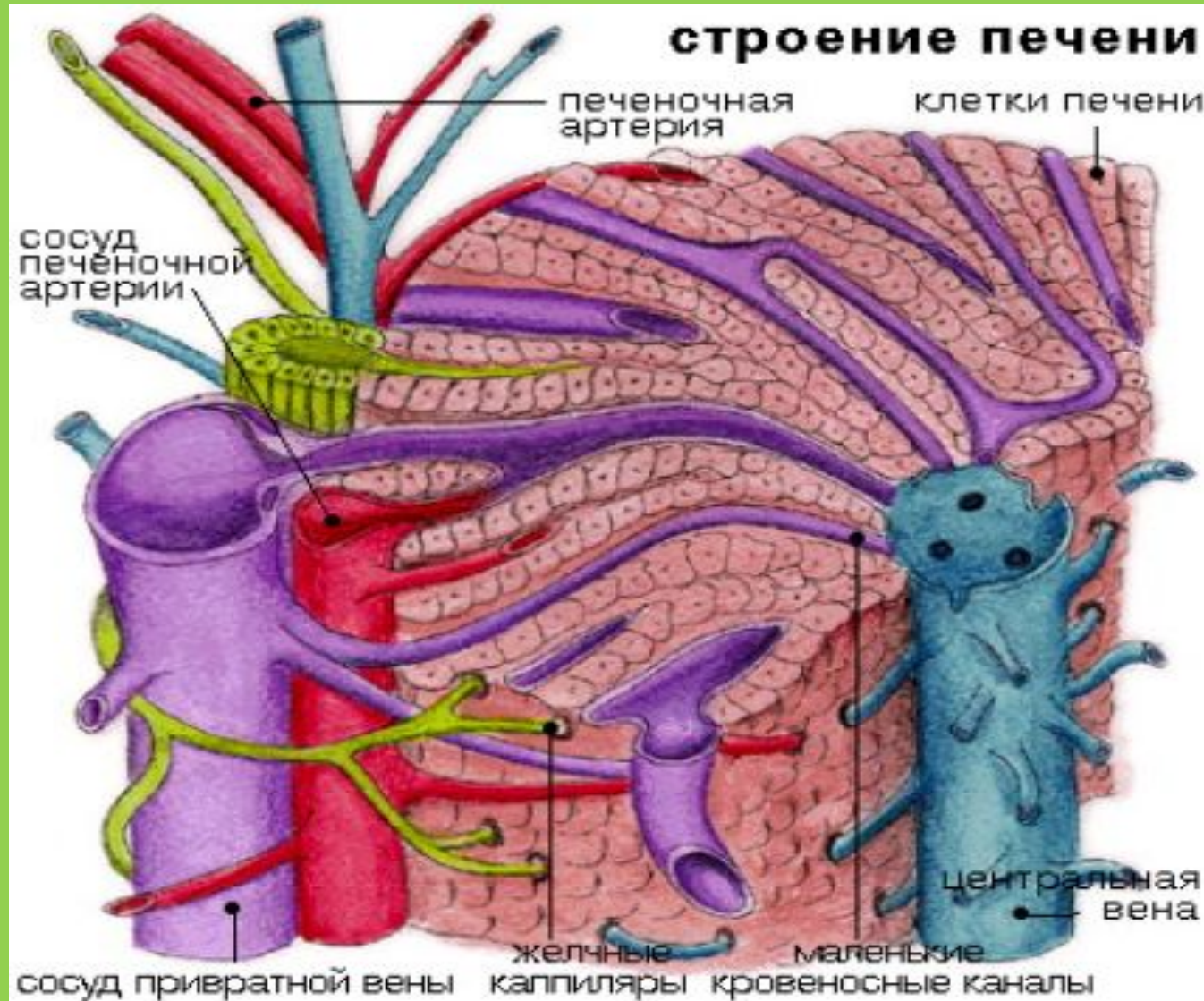
- Секретируется кишечными железами: бруннеровыми и либеркюнновыми и энтероцитами тонкого кишечника.
- рН от 7,2 до 9,0.
- Ферменты
 - Выделяются распадающимися энтероцитами - плотная часть сока.
 - Более 20 ферментов, обеспечивающих конечные стадии переваривания всех пищевых веществ: *энтерокиназа, пептидазы, щелочная фосфатаза, нуклеаза, липаза, фосфолипаза, амилаза, лактаза, сахараза.*
- Основная функция – **пристеночное (мембранное) пищеварение**.
 - Осуществляется ферментами адсорбированными на мембранах энтероцитов (щеточная кайма).
 - Образующиеся конечные продукты гидролиза концентрируются у мембраны энтероцитов;
 - Пищеварение сопряжено с всасыванием (пищеварительно-транспортный конвейер).

ФЕРМЕНТЫ МЕМБРАНЫ ЭНТЕРОЦИТОВ

ГЛИКО-ЛИТИЧЕСКИЕ	ПРОТЕО-ЛИТИЧЕСКИЕ	ЛИПОЛИТИЧЕСКИЕ
ЛАКТАЗА	ОЛИГОПЕПТИДАЗЫ	МОНОГЛИЦЕРИД-ЛИПАЗА
СУКРАЗА	ДИПЕПТИДАЗЫ	
ИЗОМАЛЬТАЗА	АМИНОПЕПТИДАЗЫ	
ТРЕГАЛАЗА		
ГЛЮКОАМИЛАЗА		
ДЕКСТРИНАЗА		



3.4. Функции печени. Роль желчи в пищеварении

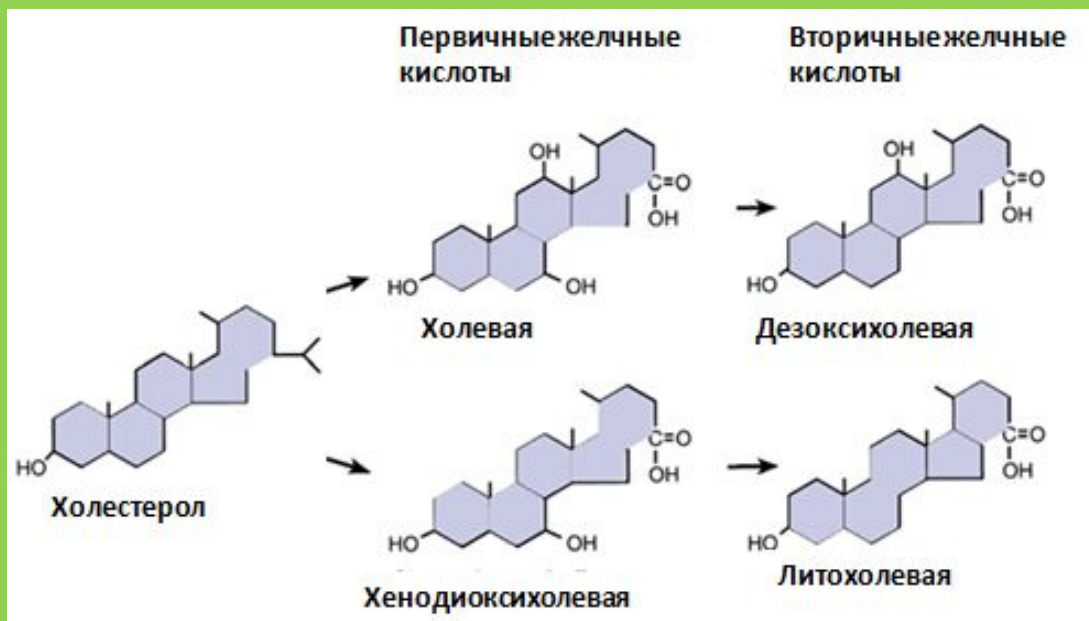


Функции печени

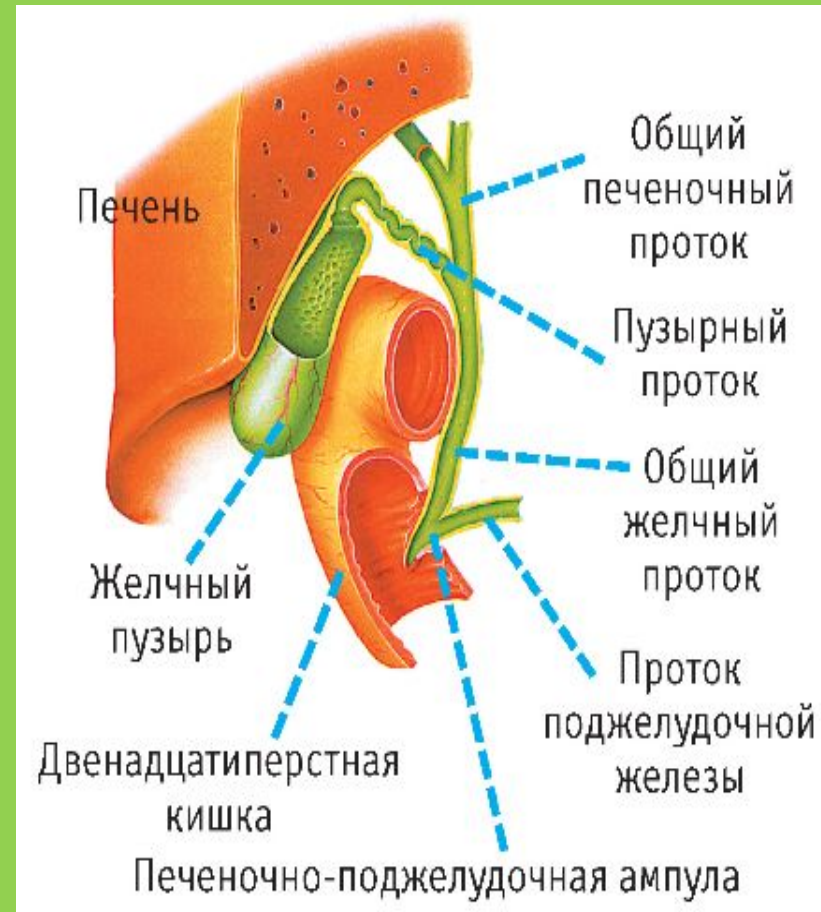
- **Антитоксическая**
 - Обезвреживание токсических продуктов, образующиеся в толстом кишечнике - индол, скатол и фенол; экзогенных токсических веществ (алкоголь)/
 - Дезаминирование аминокислот, нуклеотидов и других азотсодержащих соединений. Образующийся аммиак нейтрализуется путем синтеза мочевины.
 - Инактивация гормонов и лекарств.
 - Экскреция молекул с желчью (мочевины, соединений тяжелых металлов).
- **Участие в углеводном обмене**
 - синтез и депонирование гликогена;
 - процессы гликогенолиза и глюконеогенеза.
 - Секреция глюкозы в кровь.
- **Участие в жировом обмене.**
 - Синтез триглицеридов и холестерина.
 - Секреция холестерина в желчь.
 - Образование кетонных тел из ЖК.
- **Белковый обмен**
 - Синтез белков плазмы.
 - Обеспечение свертывания крови – синтез факторов свёртывания и противосвёртывающих факторов.
- **Секреция желчи.**
 - Секреция и метаболизм желчных солей
 - Регуляция желчеобразования.
- **Участие в пигментном обмене.**
- **Депонирующая**
 - Депо витаминов А, В, D, Е, К, железа, меди.
 - Депо крови; разрушение эритроцитов с образованием из гемоглобина билирубина.

Секреция желчи

- **Первичная секреция гепатоцитами** в желчные каналцы.
 - Желчные кислоты, лецитин, желчные пигменты.
- **Вторичная секреция эпителиальными клетками желчных каналцев**
 - Бикарбонат, электролиты, вода.
- Холестерол превращается в первичные желчные кислоты, которые затем соединяются в гепатоцитах с глицином и таурином → конъюгированные желчные кислоты → соли желчных кислот (в основном натриевые).
- Вторичные желчные кислоты производятся из первичных микрофлорой толстого кишечника.

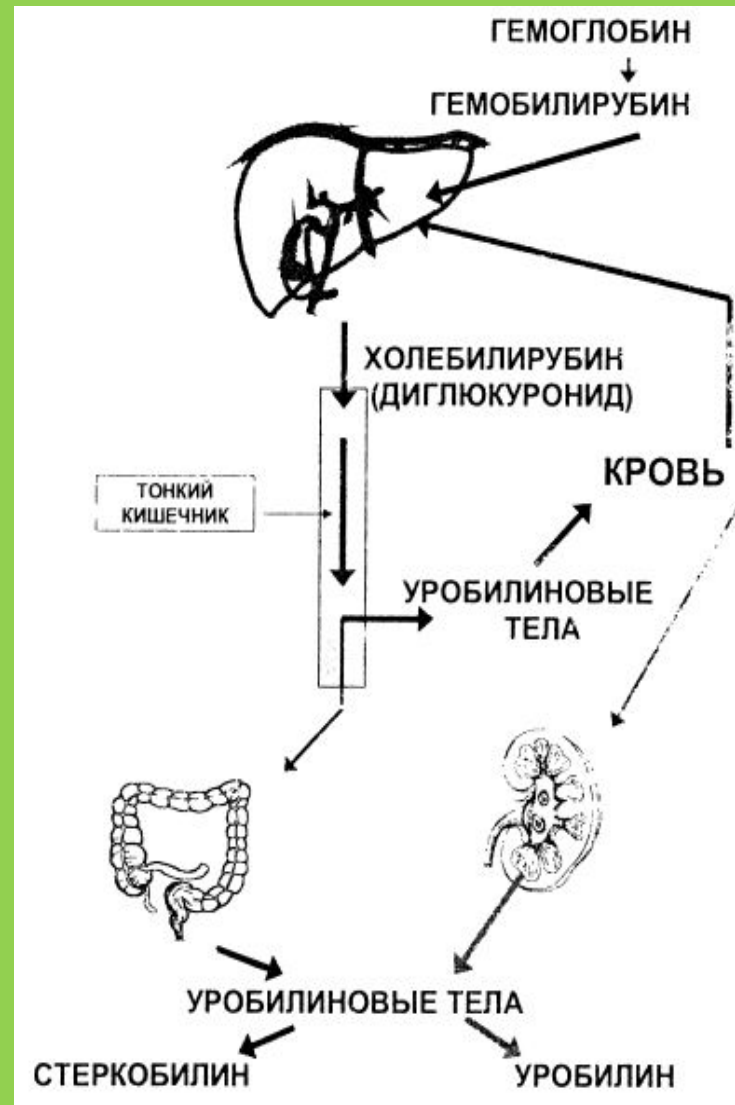


- В сутки образуется около 1 л первичной или печеночной желчи.
- Образование желчи происходит непрерывно, а секреция – периодически (во время пищеварения).
- Вне пищеварения сфинктер Одди, расположенный в устье общего желчного протока, закрыт, выделяющаяся желчь накапливается в **желчном пузыре**.
 - Объём – 20-70 мл.
 - Концентрация желчи (от 5 до 20 раз).
 - Периодическое выделение во время пищеварения. Во время пищеварения открывается сфинктер Одди и сфинктер Люткенса в шейке пузыря. Желчь выходит в двенадцатиперстную кишку.



Важные компоненты желчи

- гидрокарбонат натрия
- желчные кислоты - таурохолевая и гликохолевая;
- желчные пигменты – образуются из гемоглобина эритроцитов - билирубин и его окисленная форма биливердин. Билирубин придает желчи цвет
- холестерин и жирные кислоты;
- мочевина, мочевая кислота, креатинин;
- муцин.

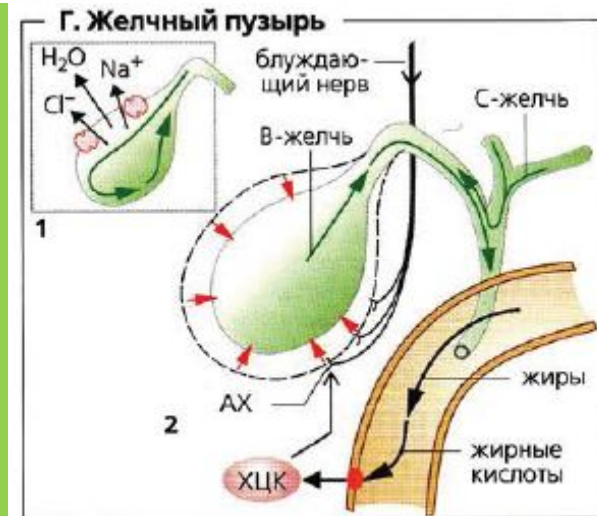
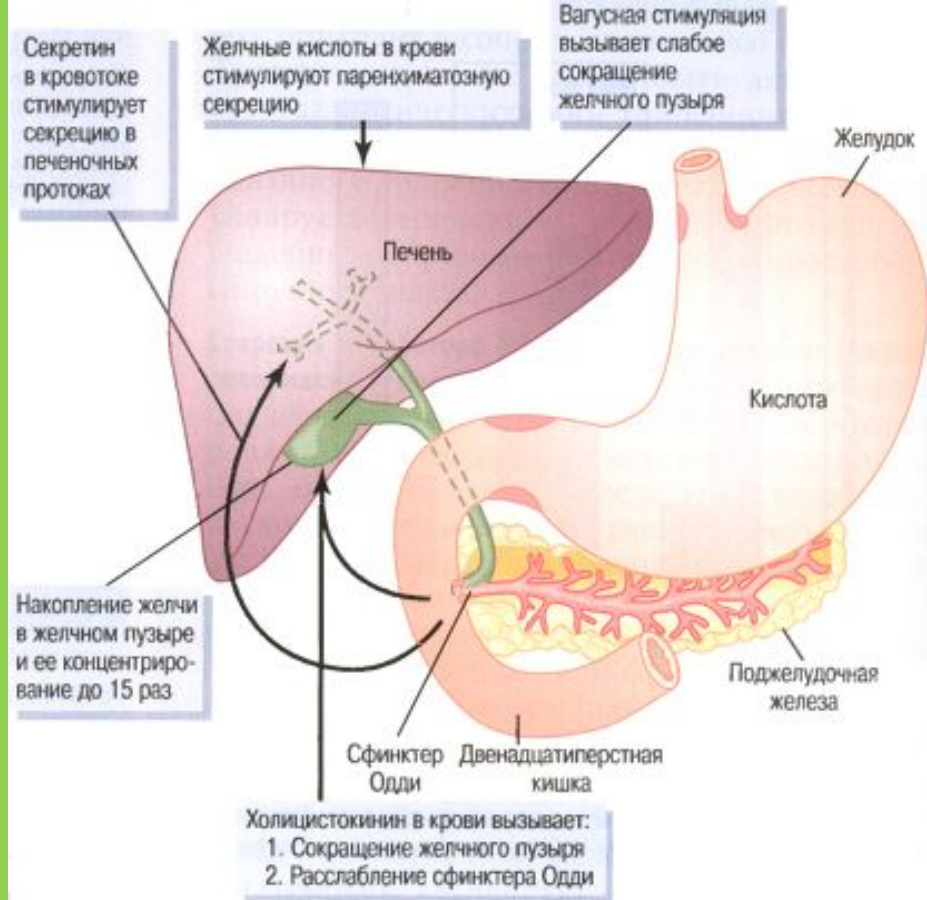


Функции желчи (желчных кислот):

- Желчные кислоты эмульгируют жиры: крупные жировые частицы → мелкодисперсные капли (детергентная функция).
- Желчные кислоты необходимы для всасывания ЖК, холестерина, моноглицеридов и жирорастворимых витаминов (образование мицелл).
- Активация ферментов кишечного и поджелудочного сока (особенно липаз).
- Способствует ресинтезу триглицеридов в энтероцитах.
- Инактивирует пепсины, а также нейтрализует кислый химус, поступающий из желудка.
- Стимулирует секрецию поджелудочного и кишечного соков, а также пролиферацию и сдушивание энтероцитов.
- Усиливает моторику кишечника.
- Оказывает бактериостатическое действие на микроорганизмы кишечника.

Регуляция желчеобразования и желчевыделения

- В основном осуществляется гуморальными механизмами
- Желчные кислоты, всасывающиеся в кровь из кишечника, стимулируют желчеобразование.
- Секретин, ↑ содержания в желчи гидрокарбоната натрия.
- Холецистокинин-панкреозимин (ХЦК-ПЗ) – гормон слизистой двенадцатиперстной кишки усиливает сокращения гладких мышц пузыря, желчных протоков, но расслабляет сфинктеры Люткенса и Одди.
- Желчь выбрасывается в кишку.
- Блуждающий нерв стимулирует выработку желчи, симпатические тормозят.



3.5. Функции толстого кишечника

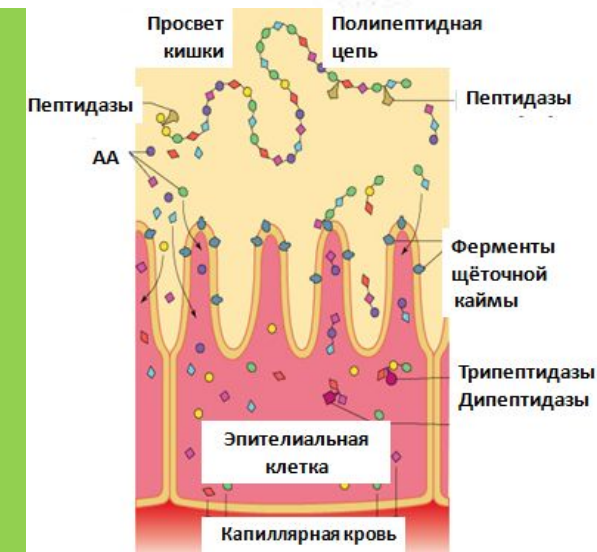
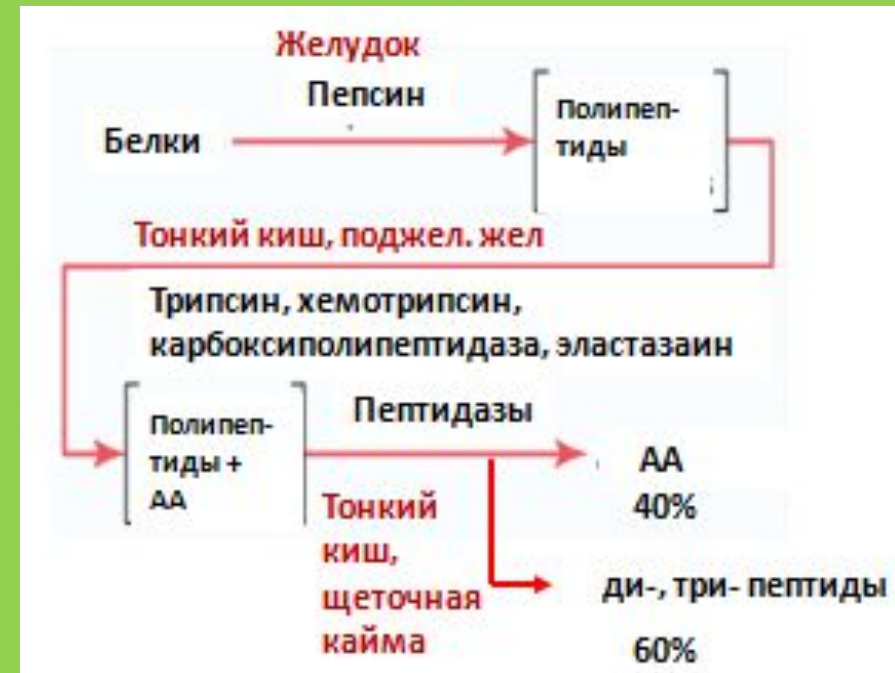
- **Формирование каловых масс.**
- **Выделительная функция** - не переваренные остатки, в основном клетчатка; мочевины, мочевиной кислоты, креатинин.
- **Заключительное пищеварение** - под действием ферментов, поступивших из тонкого кишечника, а также ферментов сока толстого (не актуален).
- **Нормальная микрофлора толстого кишечника**
 - Разложение белков с образованием токсинов (индол, фенол, скатол).
 - Образование БАВ - гистамин, тирамин, а также водород, метан, сероводород.
 - Расщепление 5-10% клетчатки до глюкозы.
 - Сбраживание углеводов до молочной, уксусной кислот и алкоголя.
 - Синтез витаминов (В6, К, Е).
 - Образование стеркобилина.
 - Защитная функция. Облигатная микрофлора кишечника подавляет развитие патогенной. Выделяемые ею кислые продукты тормозят процессы гниения. Она же стимулирует неспецифический иммунитет организма.



5. Этапы гидролиза пищевых веществ

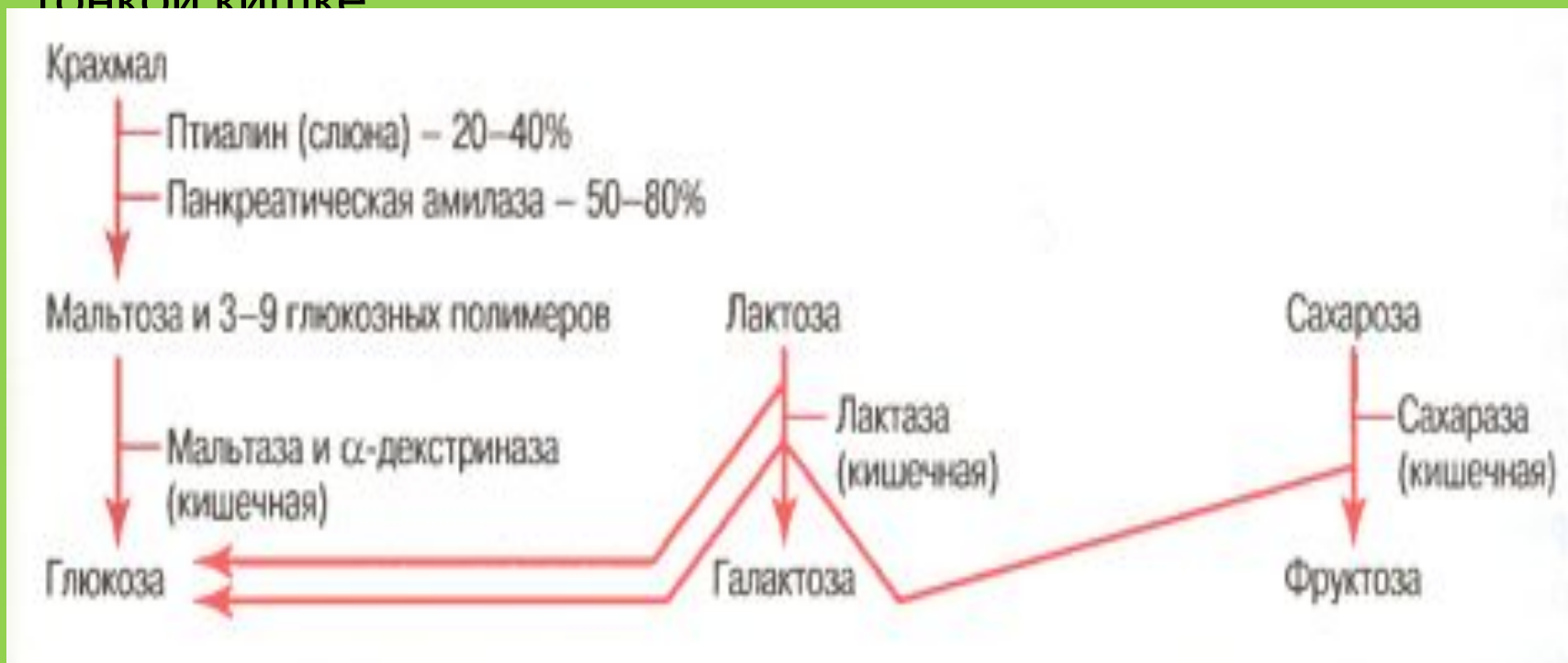
Переваривание белков

- Начинается в желудке (10-20%)
 - HCl денатурирует белки
 - Пепсины переваривают протеины до полипептидов.
- Тонкий кишечник (80-90%)
 - Эндопептидазы расщепляют связи внутри полипептидов - фрагментирование полипептидов (трипсин, химотрипсин, эластаза) – ферменты поджелудочной железы.
 - Экзопептидазы отщепляют конечные АК от пептидного фрагмента
 - Карбоксиполипептидаза (поджелудочная железа)
 - Аминопептидаза (щёточная кайма)
 - Ди- и трипептидазы (щёточная кайма) расщепляют пептиды до АК



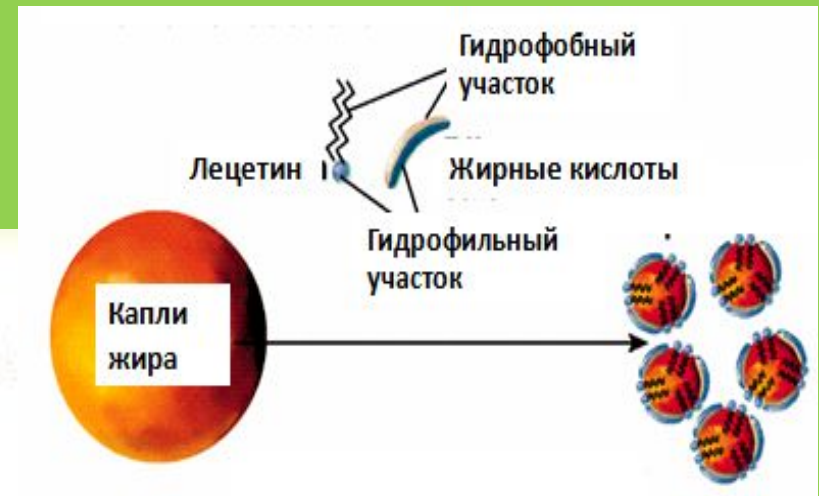
Переваривание углеводов

- Пищеварение полисахаридов начинается в ротовой полости ферментами слюны (α -амилаза или птиалин).
- Продолжается в желудке ферментами слюны (внутри пищевого комка)
- **Основная роль в пищеварении** – тонкий кишечник (ферменты поджелудочной железы и кишечных желёз и энтероцитов).
- Пищеварение дисахаридов начинается и происходит в тонкой кишке



Переваривание жиров

- Минимальная роль лингвальной и желудочной липаз.
- В 12-перстной кишке происходит эмульгирование жиров комплексом желчных кислот и лецитина.
- Панкреатическая липаза расщепляет триглицериды до моноглицеридов и ЖК (в присутствии колипазы).



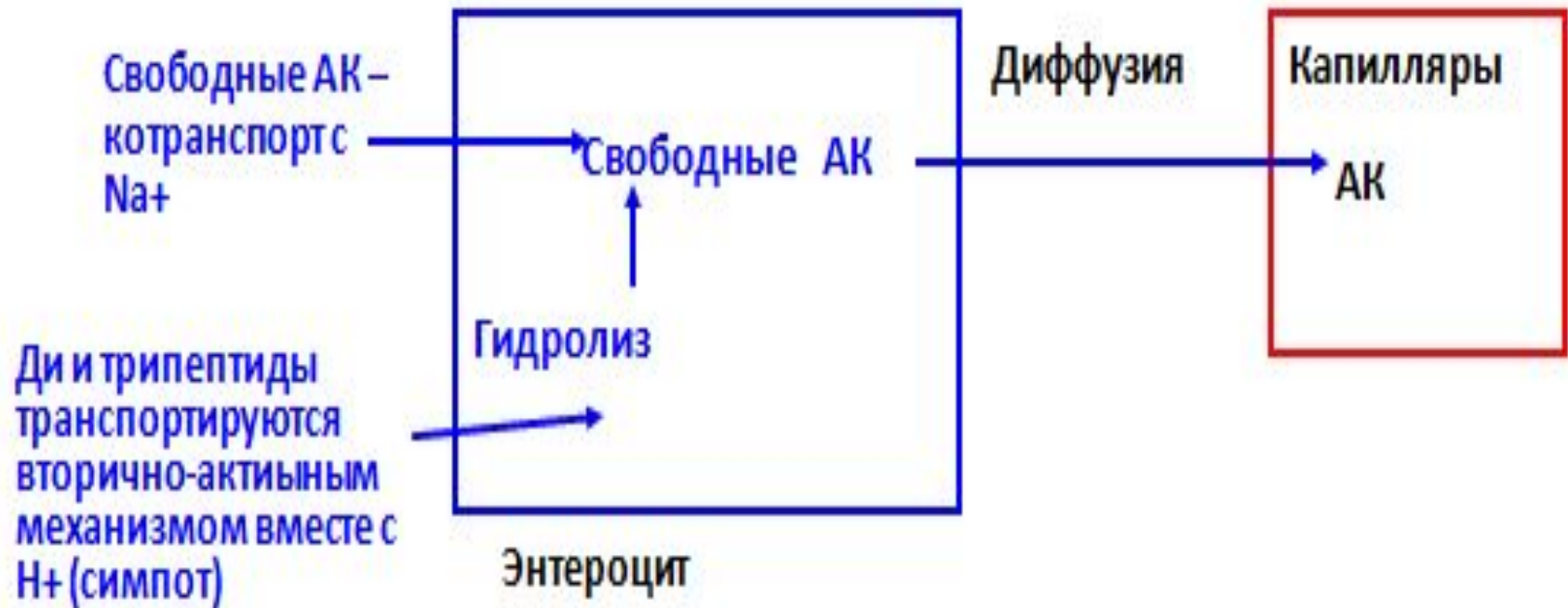
6. Всасывание в ЖКТ

- **Всасывание** - процесс переноса конечных продуктов гидролиза из пищеварительного канала в межклеточную жидкость, лимфу и кровь.
- **Основной сегмент для всасывания** - тонкий кишечник (длина - около 3 м, а площадь поверхности около 200 м²).

ОБЩИЕ МЕХАНИЗМЫ ВСАСЫВАНИЯ

- **ПАССИВНЫЙ ТРАНСПОРТ** — перенос без затрат энергии
— перенос по градиентам
- **Фильтрация** — вода, электролиты
- **Осмоз** — вода
- **Диффузия:**
 - Простая — мочевины, спирты, гликоли, соли
 - Облегченная — с помощью молекул-переносчиков — крупные молекулы
 - Обменная — антипорт — 2Na^+ на Ca^{2+}
 - Симпорт — совместный транспорт — Na^+ и глюкоза; Na^+ и аминокислота — вторично-активный котранспорт
- **АКТИВНЫЙ (ПЕРВИЧНО) ТРАНСПОРТ** — перенос с тратой энергии
— перенос против градиентов:
 - Крупные органические молекулы (олигопептиды, жирные кислоты и мицеллы, и др.), а также электролиты (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , и др.) с помощью АТФаз

Абсорбция продуктов гидролиза белков

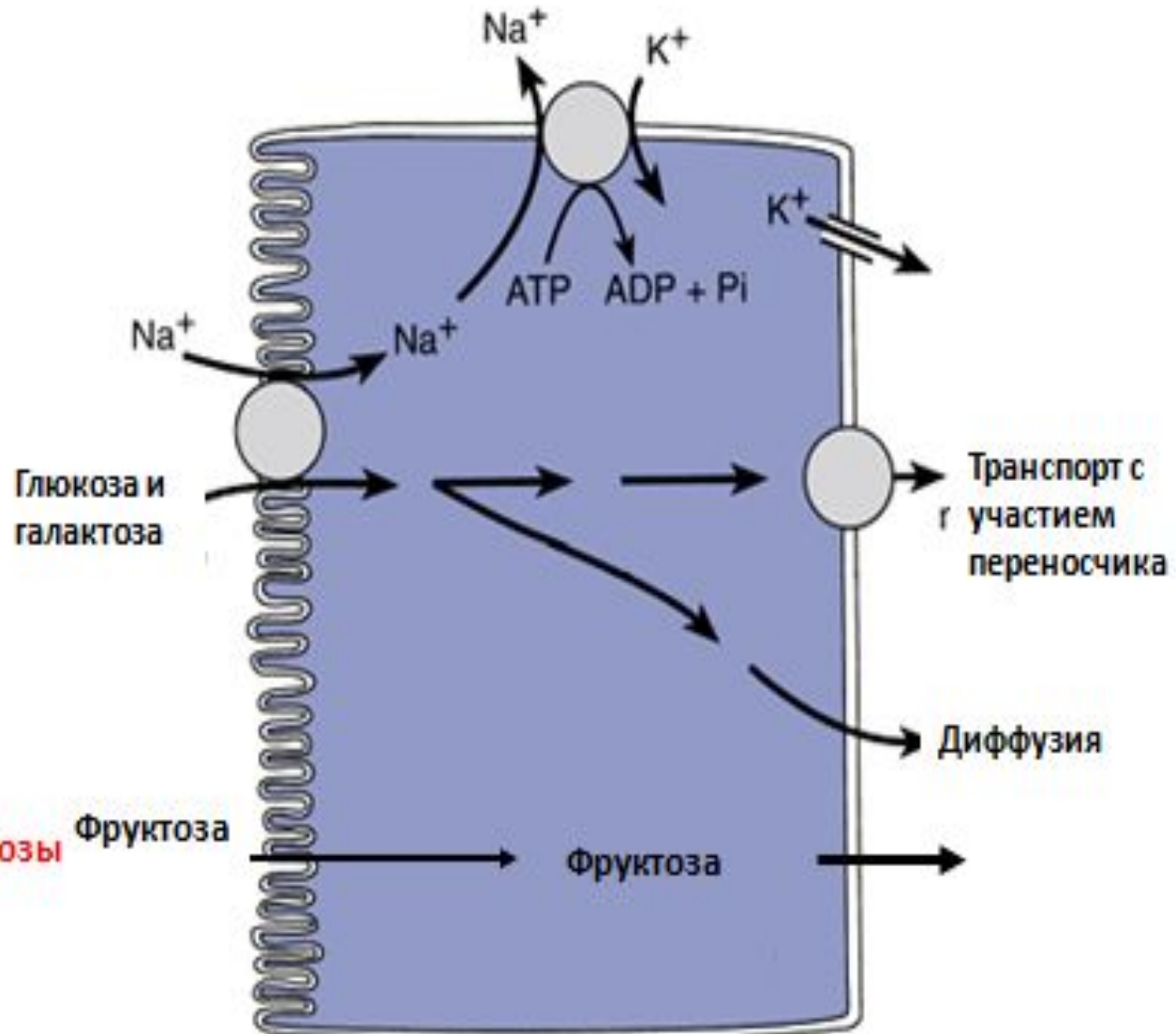


Абсорбция ди- и три-пептидов более эффективна, чем АК.

Абсорбция продуктов гидролиза углеводов

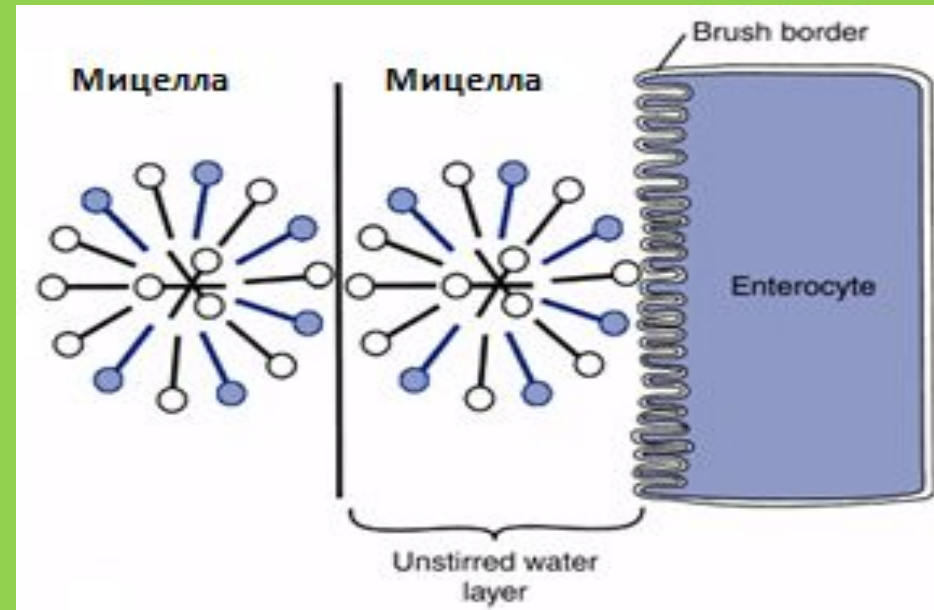
Котранспорт
глюкозы и
галактозы
вторично
активным
механизмом с
Na

Облегчённая
диффузия фруктозы



Абсорбция продуктов гидролиза жиров

- ЖК с короткой цепочкой абсорбируются механизмом простой диффузии.
- ЖК с длинной цепью и холестерин абсорбируются в составе **мицелл** (комплекс с желчными кислотами, лецитином, жирорастворимыми витаминами).
- В энтероцитах происходит ресинтез триглицеридов и фосфолипидов, а затем образование липопротеинов. Липопротеины поступают в лимфатические



Вода и минеральные вещества всасываются главным образом в верхних отделах тонкого кишечника путем осмоса и диффузии.

7. Регуляция функций ЖКТ

Гастроинтестинальные гормоны

- **Гастрин**
 - Секретируются G-клетками пилорического отдела желудка и 12-перстной кишки (энтерogaстрин)
 - Эффекты
 - ↑ секреции желудочной кислоты и пепсиногенов.
 - Сокращение пилорического сфинктера и расслабление гладкой мускулатуры желудка.
 - Трофический эффект на слизистую ЖКТ.
 - ↑ секреции глюкагона и инсулина после еды.
- **Холецистокинин-пакреозимин**
 - Секретируются I-клетками конкой кишки.
 - Эффекты
 - ↑ секреции панкреатических ферментов.
 - Расслабление сфинктера Одди, сокращение стенок желчного пузыря → выделение желчи.
 - Торможение эвакуации содержимого желудка в 12-перстную кишку.
- **Секретин**
 - Секретируется S-клетками проксимальной части тонкой кишки.
 - Эффекты
 - ↑ секреции бикарбоната и воды панкреатическими и печёночными канальцами.
 - ↓ секреции желудочной кислоты и моторики желудка.