Общие принципы физиологии пищеварения

апрель 2021

проф. С.Л. Совершаева

1. Пищеварение. Основные понятия. Пищеварительный конвейер. Типы пищеварения
2. Пищевая мотивация. Пищевое поведение. Голод и насыщение.
3. Функциональная система питания
4. Принципиальные основы функционирования ЖКТр

1.ПИЩЕВАРЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫЙ КОНВЕЙЕР. ТИПЫ ПИЩЕВАРЕНИЯ

Пищеварение – сложный процесс, в ходе которого принятая пища подвергается физико-химическим превращениям в пищеварительном тракте [Коротько Г. Ф., 1987)

↓

сохранение энергетической и пластической ценности нутриентов, утрата видовой специфичности

↓

усвоение организмом и включение в его обмен веществ

↓

обеспечение пластических и энергетических потребностей организма

«Пищеварительный конвейер» [Морозов И. А. и др.)

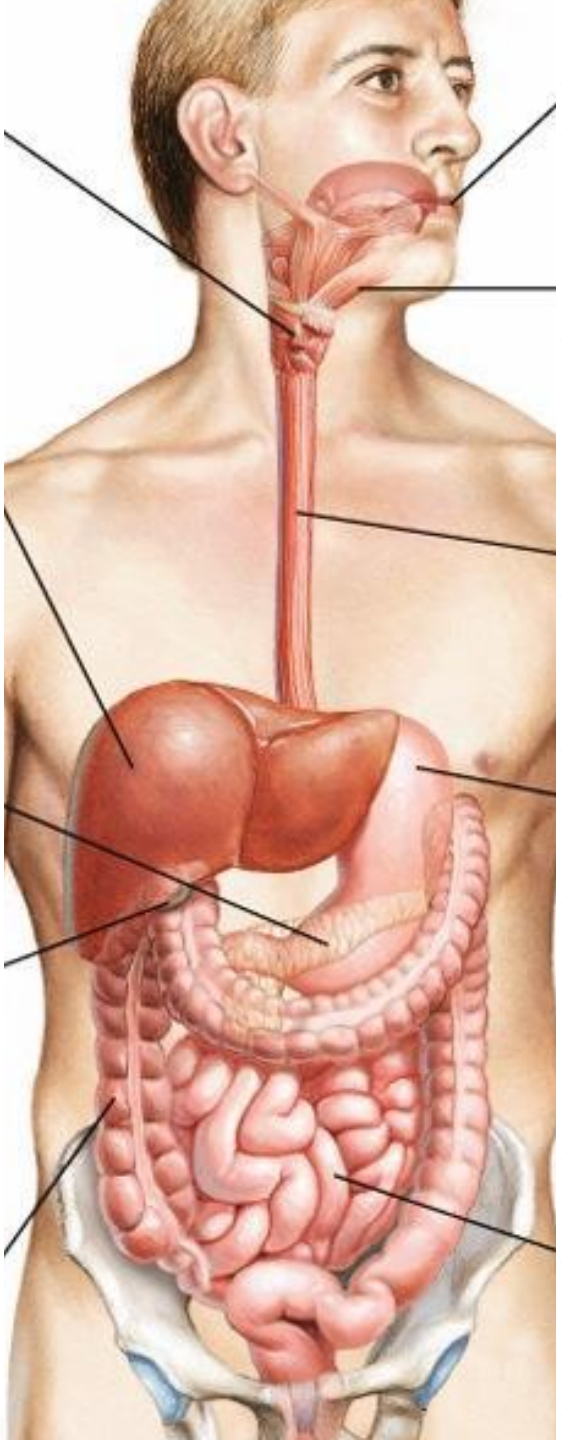
Глотка
•продвижение пищи в пищевод

Печень
•секреция желчи (важна для переваривания жиров),
• накопление нутриентов,
•производство энергии, белков, факторов свертывания,
•детоксикация и фагоцитоз

Поджелудочная железа
•секреция буферов и пищеварительных ферментов,
•секреция гормонов для регуляции пищеварения

Желчный пузырь
•накопление и концентрация желчи

Толстый кишечник
•дегидрация и уплотнение непереваренных материалов для удаления,
•ресорбция воды и электролитов,
•защитная иммунная функция



Ротовая полость
•Механическое разрушение,
•Перемешивание пищи со слюной

Слюнные железы
•Секреция жидкости, содержащей ферменты, инициирующие переваривание

Пищевод
•Транспорт пищи в желудок

Желудок
•Химическое разрушение пищи кислотой и ферментами,
•Механическое дробление (за счет мышечного сокращения)

Тонкий кишечник
•Ферментативное переваривание и
•всасывание воды, органических субстратов, витаминов и ионов,
•защитные функции

Основа химической трансформации нутриентов - деполимеризация гидролитическими ферментами

- карбогидразы, протеиназы, липазы

Внеклеточное пищеварение:

2. **Полостное (или дистантное) пищеварение**
   - ферменты слюны, желудочного и поджелудочного соков.
3. **Мембранное пищеварение**
   - ферментами, «встроенными» в клеточную мембрану энтероцитов:
     - гликокаликс и «слизистые наложения»
       - конечный этап гидролиза пищевых субстратов

В зависимости от происхождения гидролаз пищеварение м.б.

- **собственное** (ферменты, синтезированные макроорганизмом)
- **симбионтное** (ферменты бактерий и простейших, в толстой кишке)
- **аутолитическое** (экзогенные гидролазы: с молоком матери, в составе лекарств, лизосомальные ферменты

2. ПИЩЕВАЯ МОТИВАЦИЯ. ПИЩЕВОЕ ПОВЕДЕНИЕ. ГОЛОД И НАСЫЩЕНИЕ.

Пищевая мотивация. Пищевое поведение.

Пищевое поведение – реакции поиска и поедания пищи, либо отказ от них:

- в основе – **пищевая мотивация** (в результате потребности в питательных веществах)
  - субъективно – э**моции негативного характера** в голодном состоянии (ответственна – лимбическая система)
    - возбуждение нейронов передних отделов коры головного мозга – формирование поискового и пищедобывательного поведения

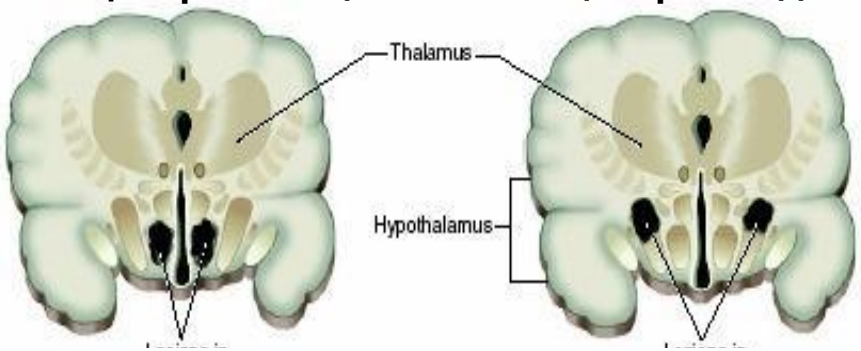
Пищевой центр - совокупность нейронов

– коры больших полушарий, лимбической системы, ретикулярной формации и гипоталамуса.

Два отдела пищевого центра:

– **центр насыщения** (нейроны вентромедиальных ядер гипоталамуса)

– **центр голода** (нейроны латеральных ядер гипоталамуса),



разрушение вентромед. ядер ядер

разрушение латеральных

ненасытный аппетит

потеря аппетита

булимия

анорексия

Изменения активности хеморецепторов, осморецепторов, механорецепторов ЖКТр, сосудов и мозга

↓

поток импульсов от периферических рецепторов в ЦНС

↓

возбуждение соответствующих центров головного мозга

↓

формирование **чувства голода или жажды (возбуждение латерального гипоталамуса)**

↓

формирование **пищевой мотивации**

↓

соответствующее **пищевое поведение** (в том числе и питьевое поведение).

Центр голода

↓

пищевое поведение – добыча и поедание пищи

↓

поступление нутриентов в пищеварительный тракт

↓

их переваривание и всасывание

↓

возбуждение соответствующих рецепторов ЖКТр, вкуса, обоняния, зрения и т.д.

↓

возбуждение **центра насыщения (венромедиальный гипоталамус)**

↓

блокада пищевого поведения (**насыщение**)

Аппетит – это чувство, связанное со стремлением к потреблению пищи

- в его основе – пищевая мотивация,
- формируется при участии нейронов коры больших полушарий и лимбической системы.

Насыщение (снижение аппетита):

- **первичное (сенсорное**)
  - афферентация от рецепторов (ЖКТр, вкуса, обоняния, зрения и т.д.),
  - в течение 30 минут (условно-рефлекторная реакция),
  - положительные эмоции,
  - Биологическое значение – оборвать чувство голода (прекратить пищевое поведение).
- **вторичное (обменное, нутритивное, метаболическое)**
  - результат поступления в кровь продуктов гидролиза нутриентов,
  - наступает через 1,5 –2 часа после приема пищи.

Насыщение регулируется гормонами:

- *холецистокинин (ХК), пептиды YY, Y и ГПП-1 (глюкагоноподобный пептид-1)*
  - выделяются в ответ на потребление пищи
    - снижают чувства голода
- *лептин* выделяется
  - в ответ на инсулин и действует на центр насыщения в гипоталамусе
  - вызывает чувство насыщения

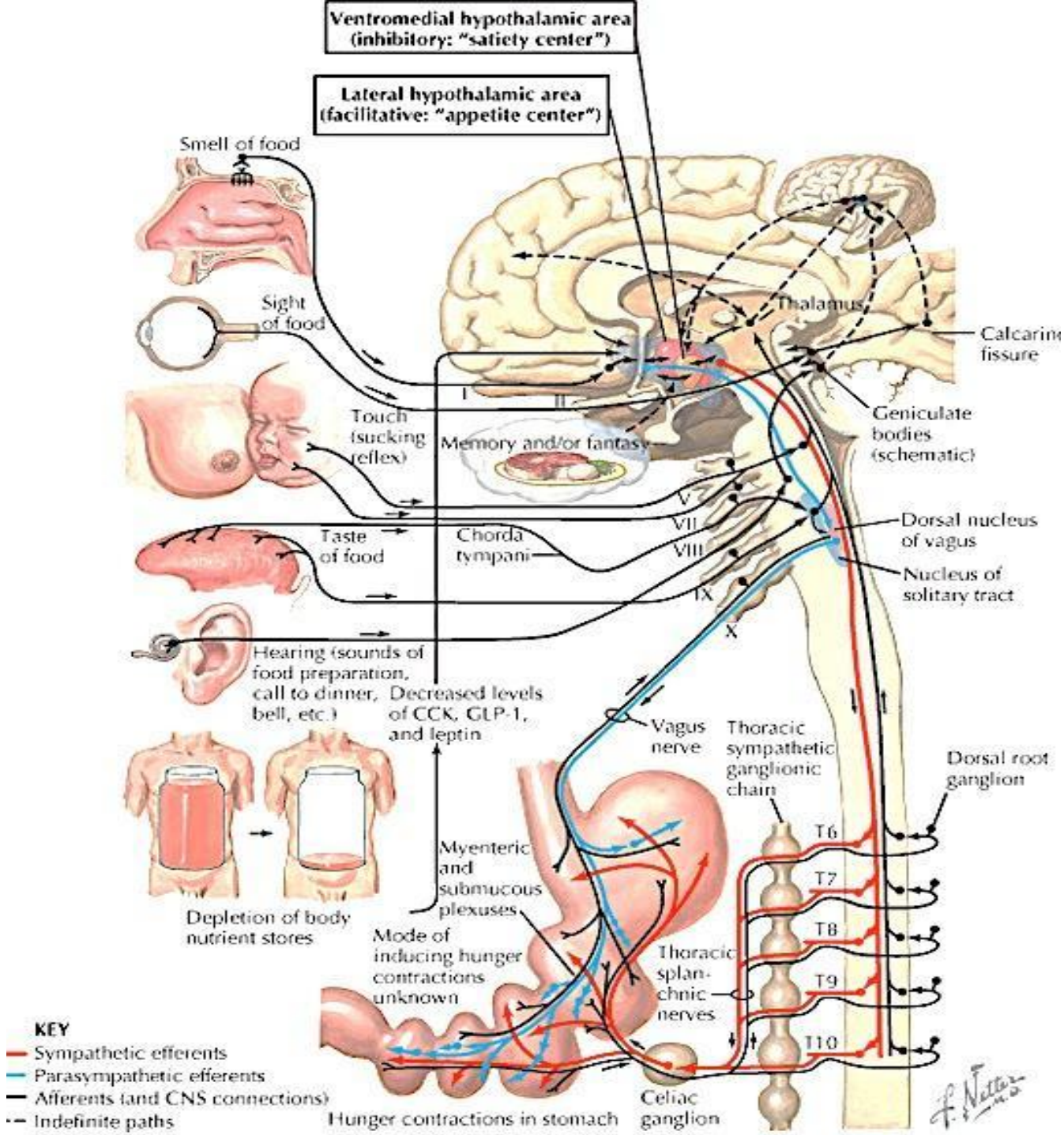
Голод

- *вагусная* стимуляция *энтеральной НС* и
- выделение гормонов ЖКТр:
  - *грелин и орексин* стимулируют центр голода в гипоталамусе
    - вызывает чувство голода

Орексигенные факторы (голод – повышение аппетита)	Анорексигенные факторы (насыщение - понижение аппетита)
гипоталамический нейропептид Y	кишечный нейропептид YY
орексин	холецистокинин
соматолиберин	глюкагоноподобный пептид
грелин	лептин
парасимпатическая стимуляция	симпатическая стимуляция

Нарушения аппетита:

- **анорексия** –
  - отсутствие аппетита в течение длительного времени (дни, недели, месяцы),
  - в основе патология центра голода,
- **булимия** –
  - чрезмерный аппетит,
  - непрекращающаяся пищевая мотивация,
  - связана с патологией центров голода и насыщения,
  - часто наблюдается при гиперинсулинемии.
- **извращения аппетита** –
  - стремление к поеданию несъедобных веществ (зола, земля, бумага и пр.),
  - результат недостатка определенных веществ в организме,
  - результат психического расстройства.


Ventromedial hypothalamic area (inhibitory: "satiety center")
Lateral hypothalamic area (facilitative: "appetite center")
Smell of food
Sight of food
Touch (sucking reflex)
Memory and/or fantasy
Taste of food
Chorda tympani
Hearing (sounds of food preparation, call to dinner bell, etc.)
Decreased levels of CCK, GLP-1, and leptin
Depletion of body nutrient stores
Mode of inducing hunger contractions unknown
Myenteric and submucous plexuses
Hunger contractions in stomach
Vagus nerve
Thoracic sympathetic ganglionic chain
Thoracic splanchnic nerves
Celiac ganglion
Thalamus
Calcarine fissure
Geniculate bodies (schematic)
Dorsal nucleus of vagus
Nucleus of solitary tract
Dorsal root ganglion
I
II
V
VII
VIII
IX
X
T6
T7
T8
T9
T10
KEY
Sympathetic efferents
Parasympathetic efferents
Afferents (and CNS connections)
Indefinite paths

Перемещение жидкости с участием ЖКТр

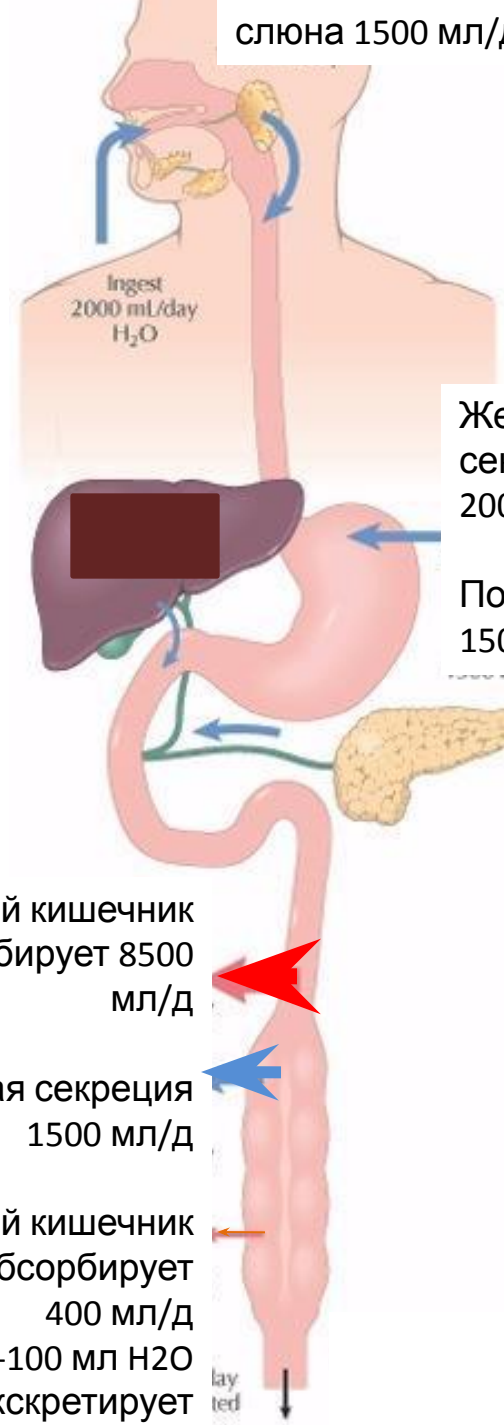
- потребление жидкости ≈2 л/с с едой,
- ЖКТр секретирует для облегчения переваривания и всасывания нутриентов ≈7 л/с

Итак, всего поступает в полость ЖКТр ≈ 9 л/с

- до 8,9 л/день абсорбируется обратно в кровь (преимущественно в тонком кишечнике и в меньшей степени в толстом);

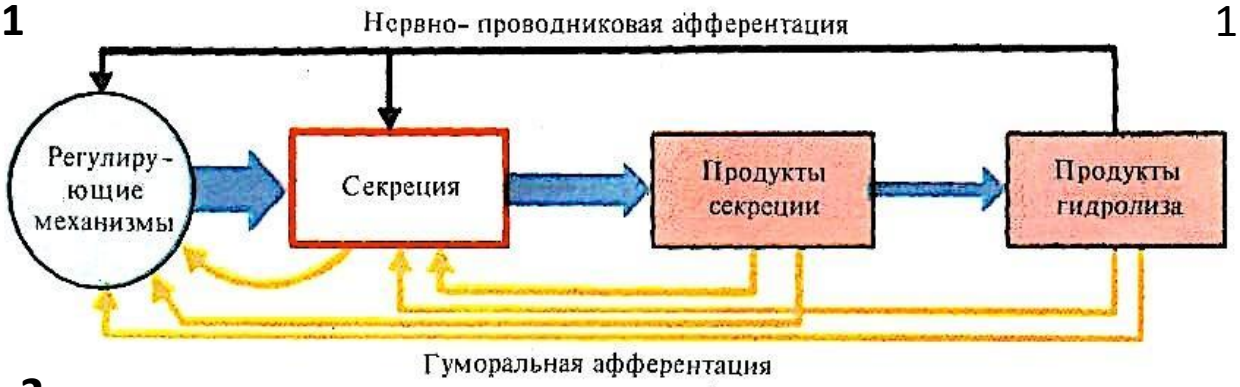
Итак, лишь ≈100 мл жидкости в день экскретируется с каловыми массами

2000+1500+2000+500+1500+1500 = 9000 (пост. в к-к
8500+ 400=8900 (абсорбируется в кишечнике)
9000-8900=100 мл/с – экскреция с калом



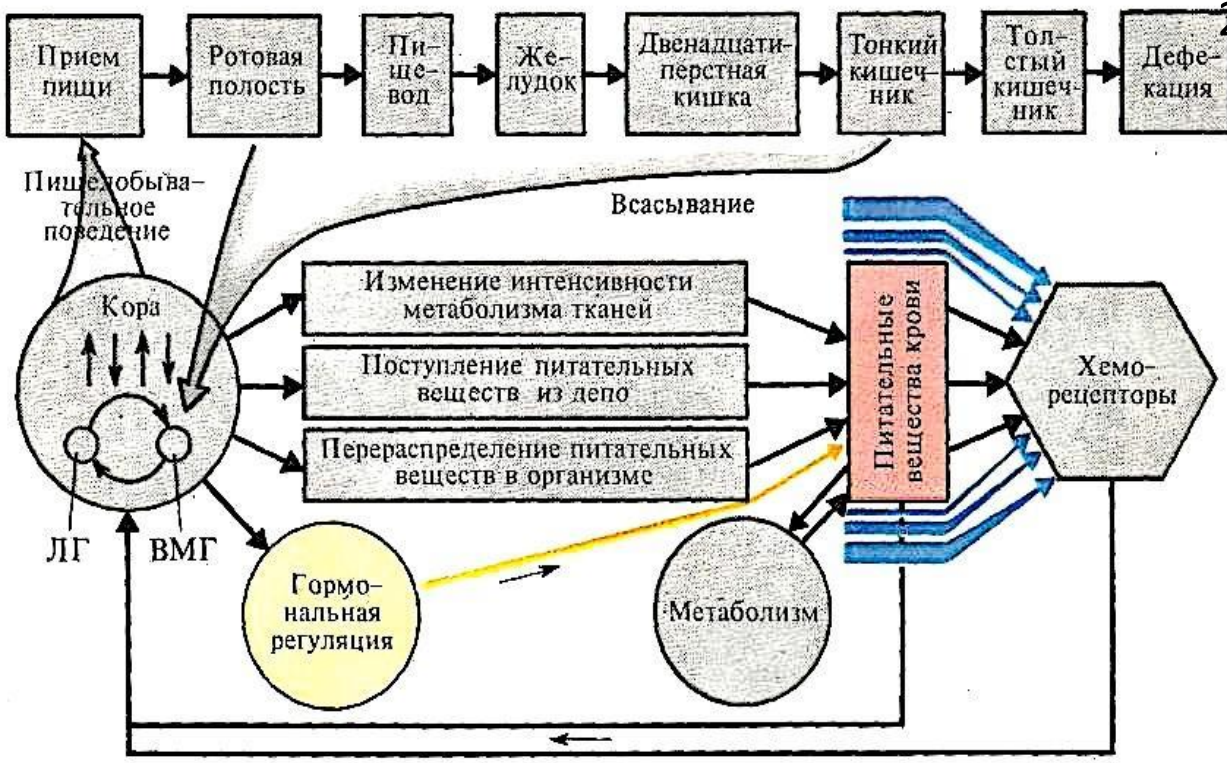
3. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ

1



1. Афферентные влияния различного типа, регулирующие секрецию пищеварительных соков

2

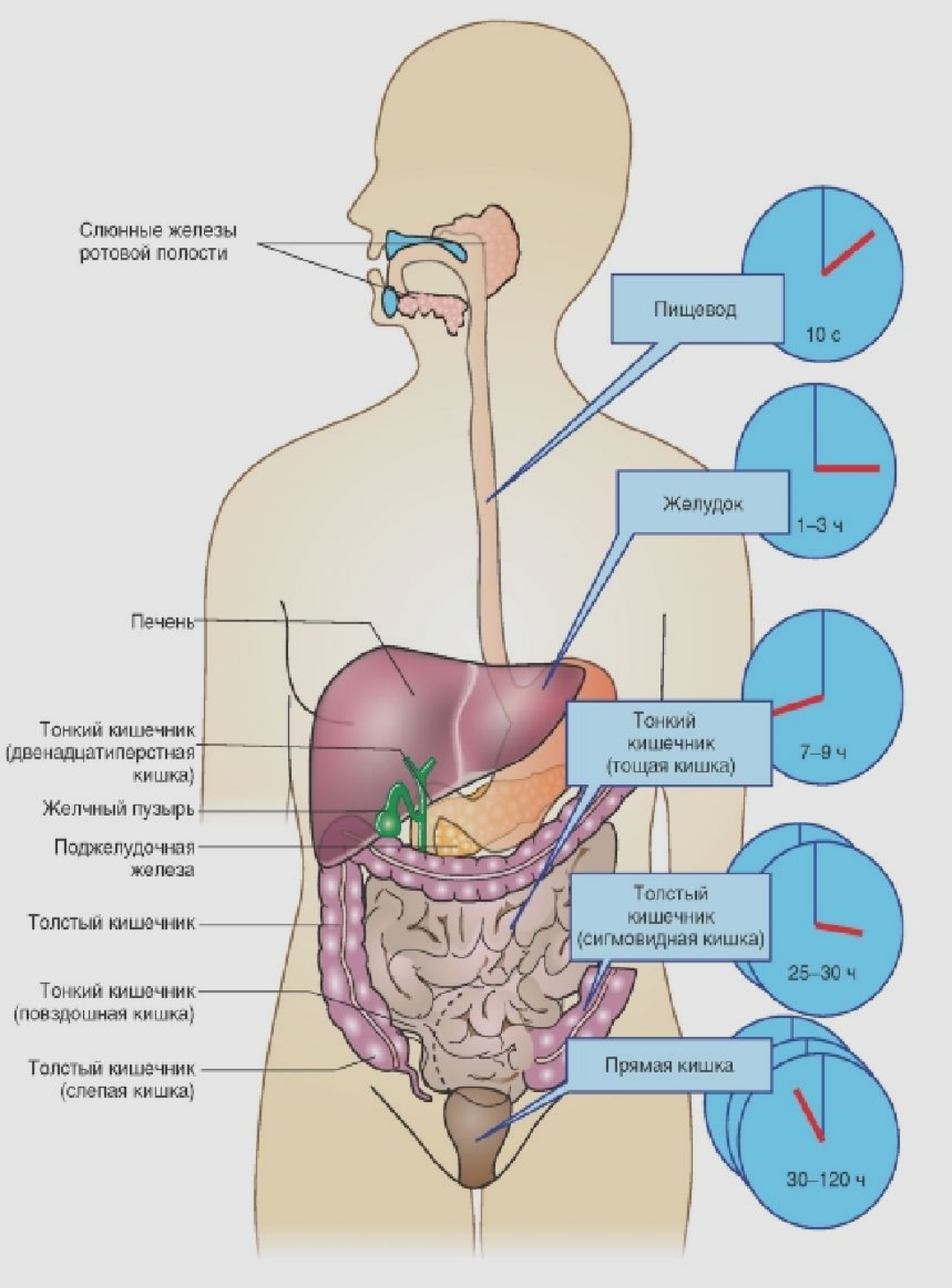


2. **Схема функциональной системы**, обеспечивающей регуляцию питания организма: ЛГ — латеральное ядро гипоталамуса, ВМГ – вентромедиальное ядро гипоталамуса

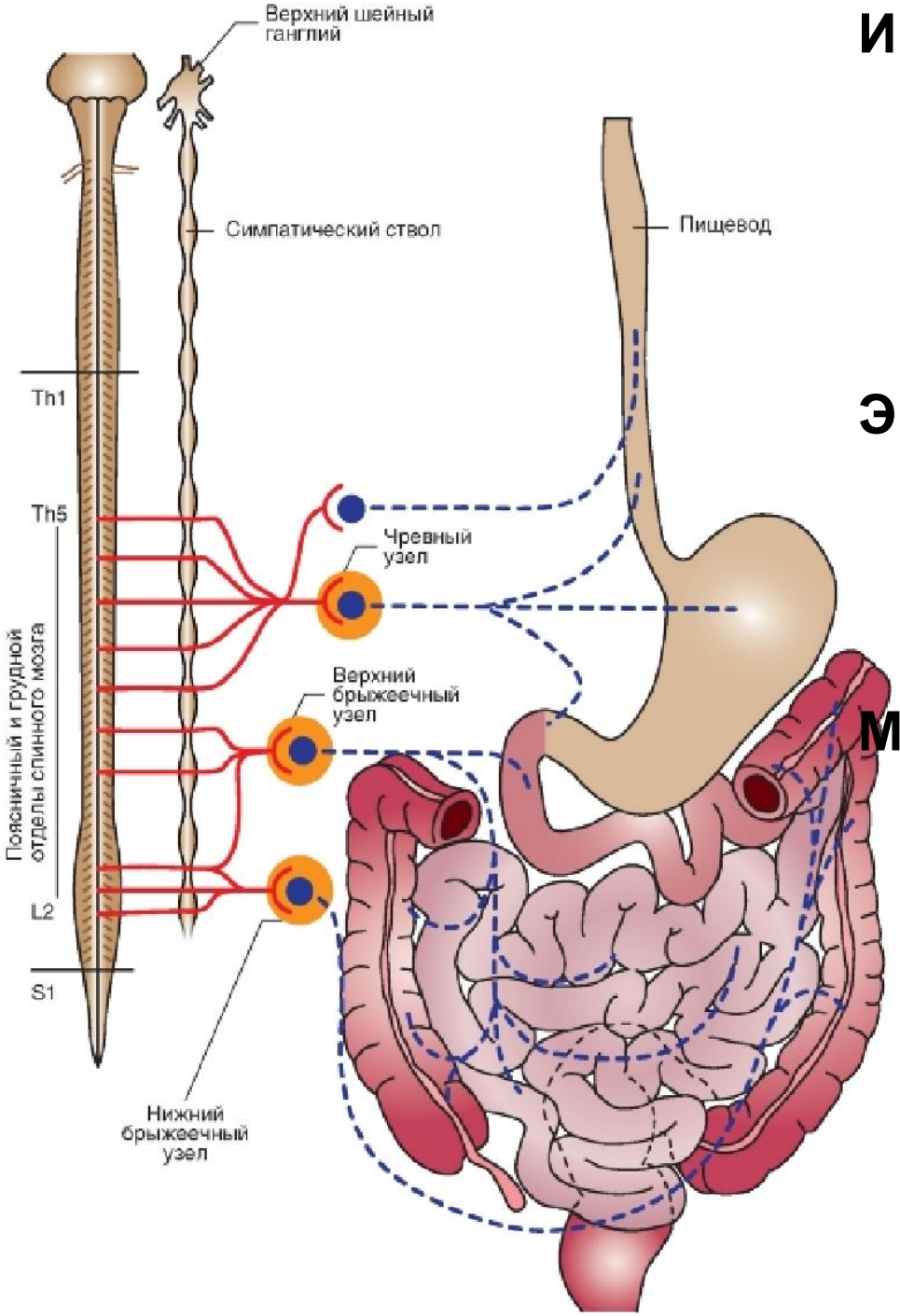
3. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА

- **Пищеварительный тракт** — мышечная трубка, выстланная слизистой оболочкой, просвет трубки — внешняя среда
  - в стенке трубки и вне её находятся железы, выводные протоки которых открываются в её просвет.
- **Пищеварительный тракт**
  - собственный нервный аппарат (энтеральная нервная система) и
  - собственную систему эндокринных клеток (энтероэндокринная система).

- **ЖКТ вместе с его большими железами (слюнные, печень, поджелудочная) формирует пищеварительную систему**
  - переваривание
  - абсорбция/всасывание



- Пищеварительная система:
  - секреция пищеварительных соков и переваривание пищи,
  - перемещение пищи, химуса и каловых масс;
  - всасывание переваренных продуктов, воды и электролитов,
  - благодаря кровотоку через органы пищеварения – перенос всосавшихся веществ по организму,
  - гуморальный и нервный контроль всех этих функций.



Иннервация

- **парасимпатическая –** ↑ активность ЖКТр
- **симпатическая** – ↓ активность ЖКТр

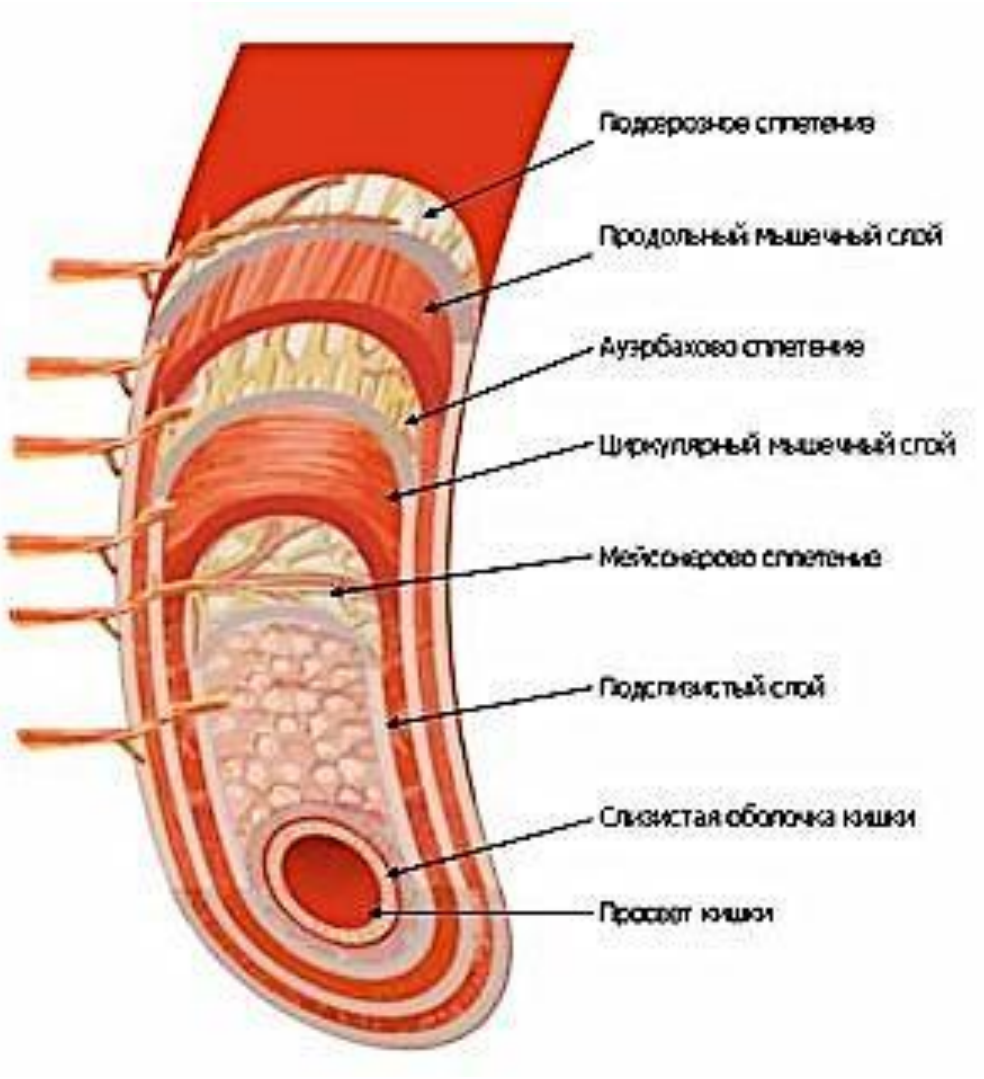
Экстрамуральные нейроны ЖКТр – секреция БАВ:

- нейрокрины и
- паракрины

Местные рефлекторные дуги (2-х нейронные) – активность мышечных и железистых клеток:

- чувствительные клетки (клетки Догеля 2 типа)
- двигательные клетки (клетки Догеля 1 типа)

Энтеральная нервная система



– регуляция двигательной и секреторной активности ЖКТ
– стенка ЖКТ – сети нервных сплетений

1) **межмышечное сплетение (Ауэрбаха)** – регуляция моторики
2) **подслизистое (Мейснера**) – регуляция моторики и секреции.

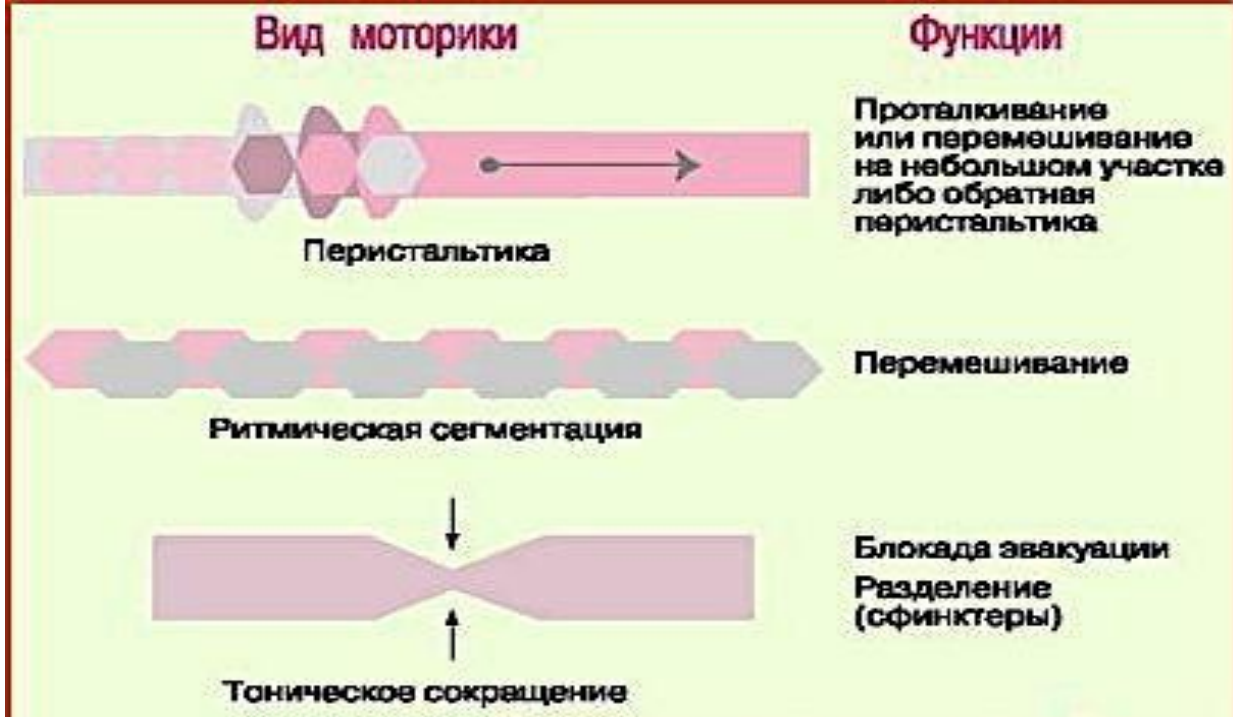
Моторика желудочно-кишечного тракта

- Ритм сокращений определяется частотой медленных волн гладко-мышечных клеток (ГМК)
  - сокращение – при ↓мембранного потенциала (МП) – деполяризации – до –40 мВ.

- Факторы, деполяризующие мембрану ГМК:
  - растяжение мышцы,
  - ацетилхолин (парасимпатическая стимуляция),
  - гастроинтестинальные гормоны.

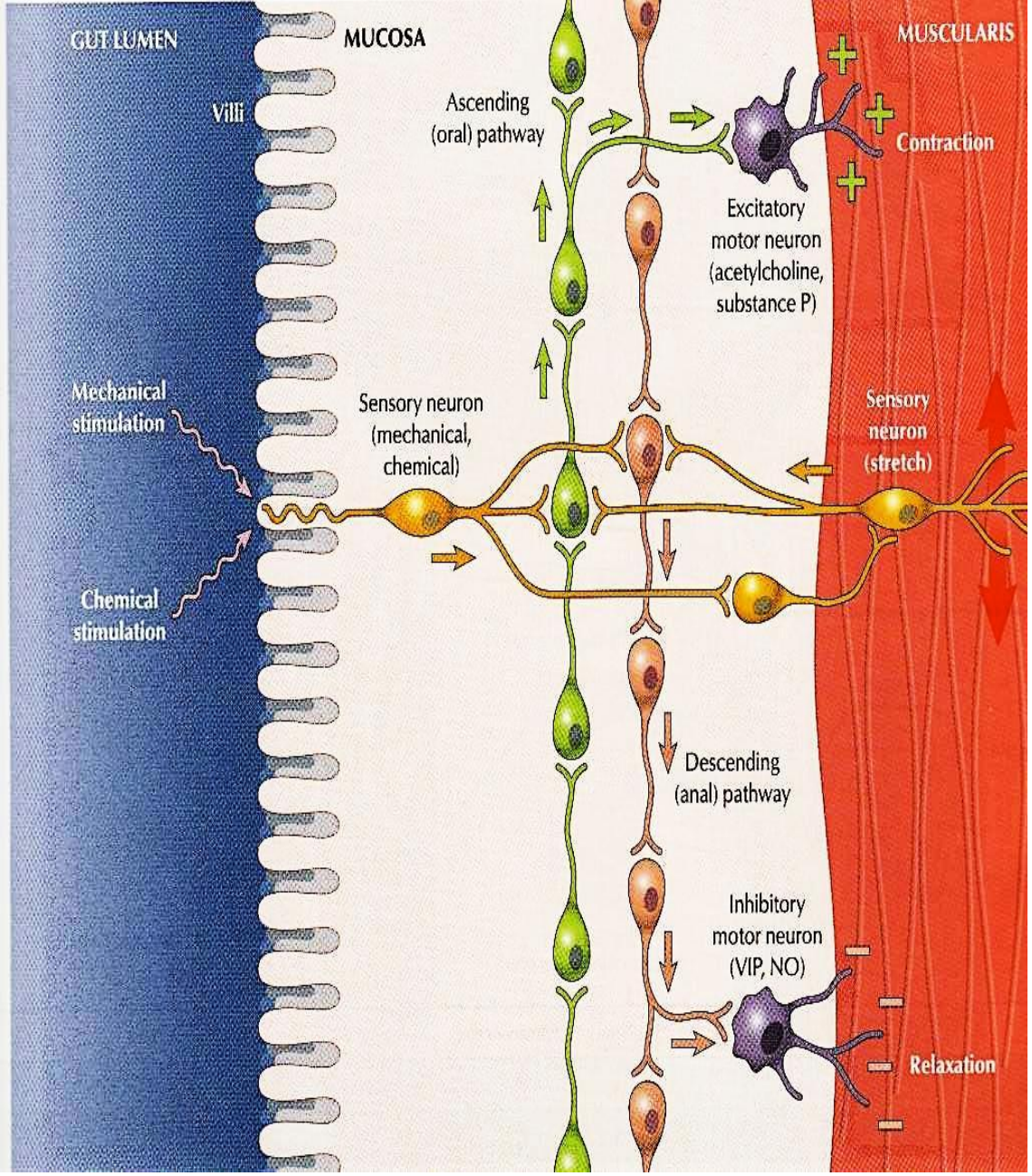
- Гиперполяризацию мембраны миоцитов вызывают
  - адреналин, норадреналин (стимуляция постганглионарных симпатических волокон)

Моторика продвижение и перемешивание пищи в различных частях пищеварительного тракта.



Виды моторики

- **Перистальтические движения** — продвигающие (пропульсивные) движения – в норме волна продвигается в анальном направлении,
  - результат местного рефлекса — перистальтический рефлекс, или миоэнтеральный рефлекс,
- **Непропульсивные/перемешивающие движения -** там, где продвижение пищи задерживается сфинктерами
  - локальные чередующиеся сокращения, пережимающие кишку от 5 до 30 сек, затем новые пережатия в другом месте и т.д.



Регуляция перистальтики

Присутствие комка пищи в полости кишечника вызывает сокращение гладкой мускулатуры выше (зеленые линии) и расслабление ниже (розовые) комка

- это ведет к возникновению перистальтической волны, которая проталкивает комок вниз по кишечнику (т.е., от рта к анусу)
- движение координируется энтеральной нервной системой.

Нейроны миентерального сплетения, обозначенные на рисунке, расположены в наружной слизистой оболочке.

Эндокринная система желудочно-кишечного тракта

- APUD- система (акроним от английских слов **a**mine — амины, **p**recursor — предшественник, **u**ptake — усвоение, поглощение; **d**ecarboxylation — декарбоксилирование)
- полипептиды, секретируемые слизистой оболочкой желудочно-кишечного тракта в ответ на специфическую стимуляцию,
- местная регуляция процессов пищеварения

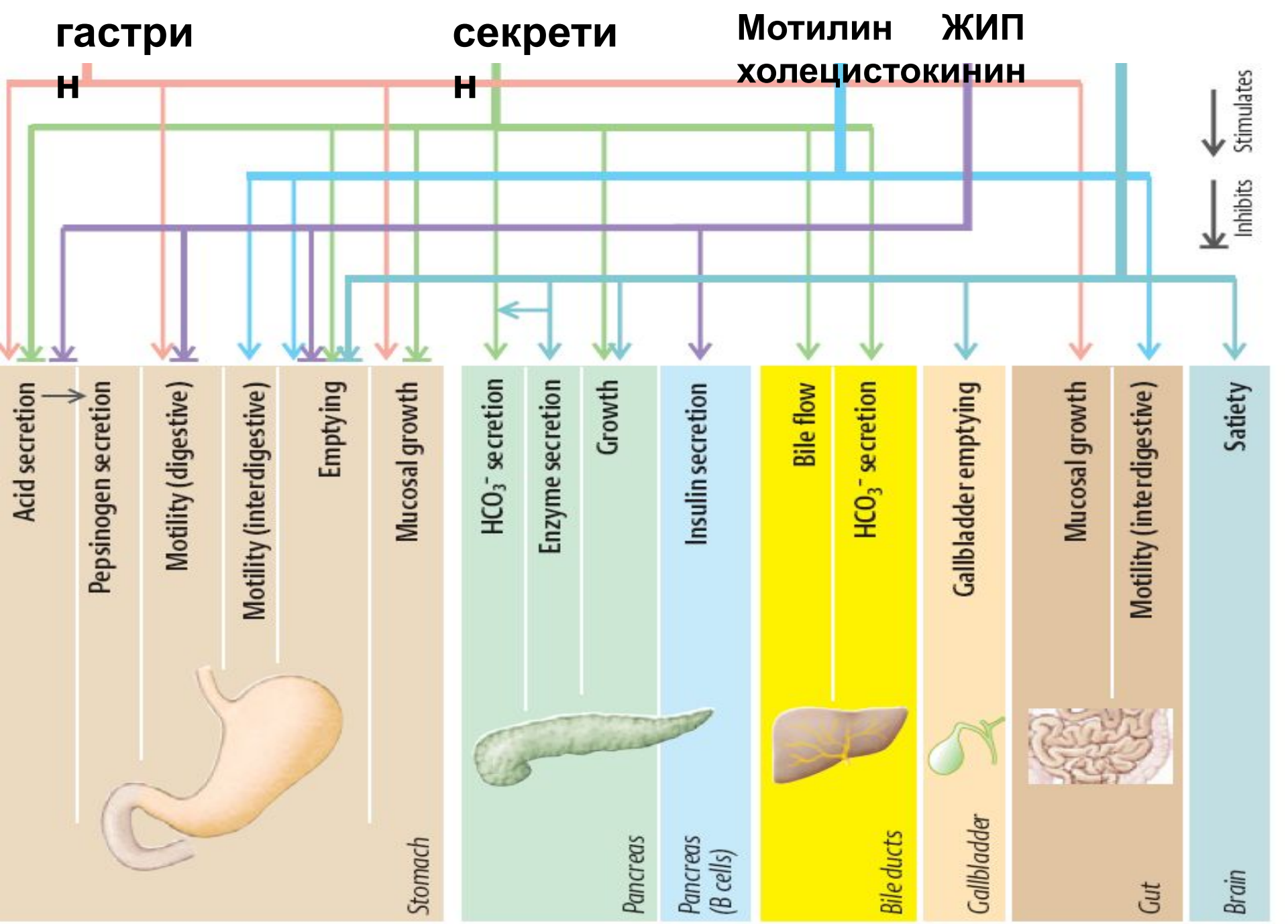
- **Соматостатин**
  - желудок, проксимальный отдел тонкой кишки, поджелудочная железа
  - D-клетки
  - Тормозит выделение инсулина и глюкагона, большинства известных желудочно-кишечных гормонов (секретина, ГИПа, мотилина, гастрина); тормозит активность париетальных клеток желудка и ацинарных клеток поджелудочной железы
- **Вазоактивный интестинальный (ВИП) пептид**
  - Во всех отделах желудочно-кишечного тракта
  - D-клетки
  - Тормозит действие холецистокинина, секрецию соляной кислоты и пепсина желудком, стимулированную гистамином, расслабляет гладкие мышцы кровеносных сосудов, желчного пузыря
- **Панкреатический полипептид (ПП)**
  - Поджелудочная железа
  - D2-клетки
  - Антагонист ХЦК-ПЗ, усиливает пролиферацию слизистой оболочки тонкой кишки, поджелудочной железы и печени; участвует в регуляции обмена углеводов и липидов

- **Гастрин**
  - Антральная часть желудка, поджелудочная железа, проксимальный отдел тонкой кишки
  - G-клетки
  - Стимулирует секрецию и выделение пепсина желудочными железами, возбуждает моторику расслабленного желудка и двенадцатиперстной кишки, а также желчного пузыря
- **Гастрон**
  - Антральный отдел желудка
  - G- клетки
  - Снижает объем желудочной секреции и выход кислоты в желудочном соке
- **Бомбезин** (гастринвысвобождающий пептид)
  - Желудок и проксимальный отдел тонкой кишки
  - P-клетки
  - Стимулирует высвобождение гастрина, усиливает сокращение желчного пузыря и выделение ферментов поджелудочной железой, усиливает выделение энтероглюкагона

- **Мотилин**
  - Проксимальный отдел тонкой кишки
  - EC2-клетки
  - Возбуждает секрецию пепсина желудком и секрецию поджелудочной железы, ускоряет эвакуацию содержимого желудка
- **Холецистокинин-панкреозимин** (ХЦК-ПЗ)
  - Тонкий кишечник
  - I-клетки
  - Возбуждает выход ферментов и в слабой степени стимулирует выход бикарбонатов поджелудочной железой, тормозит секрецию соляной кислоты в желудке, усиливает сокращение желчного пузыря и желчевыделение, усиливает моторику тонкой кишки
- **Секретин**
  - Тонкий кишечник
  - S-клетки
  - Стимулирует секрецию бикарбонатов и воды поджелудочной железой, печенью, железами Бруннера, пепсина; тормозит секрецию в желудке

- **Гастроингибирующий пептид (ГИП)**
  - Тонкий кишечник
  - К-клетки
  - Тормозит выделение соляной кислоты и пепсина, высвобождение гастрина, моторику желудка, возбуждает секрецию толстой кишки
- **Гистамин**
  - Желудочно-кишечный тракт
  - EC2-клетки
  - Стимулирует выделение секрета желудка и поджелудочной железы, расширяет кровеносные капилляры, оказывает активирующее влияние на моторику желудка и кишечника
- **Серотонин**
  - Желудочно-кишечный тракт
  - EC1,EC2-клетки
  - Тормозит выделение соляной кислоты в желудке, стимулирует выделение пепсина, активирует секрецию поджелудочной железы, желчевыделение, кишечную секрецию

- **Гастроингибирующий пептид (ГИП)**
  - Тонкий кишечник
  - К-клетки
  - Тормозит выделение соляной кислоты и пепсина, высвобождение гастрина, моторику желудка, возбуждает секрецию толстой кишки
- **Гистамин**
  - Желудочно-кишечный тракт
  - EC2-клетки
  - Стимулирует выделение секрета желудка и поджелудочной железы, расширяет кровеносные капилляры, оказывает активирующее влияние на моторику желудка и кишечника
- **Серотонин**
  - Желудочно-кишечный тракт
  - EC1,EC2-клетки
  - Тормозит выделение соляной кислоты в желудке, стимулирует выделение пепсина, активирует секрецию поджелудочной железы, желчевыделение, кишечную секрецию



2 Main effects of gastrointestinal hormones

(Partly after L. R. Johnson)

ВЛИЯНИЕ ГОРМОНОВ НА ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЖКТр

- **Секреция слизи и бикарбоната в желудке**
  - Стимулируют: гастрин, гастрин-рилизинг гормон, глюкагон, простагландин Е, эпидермальный фактор роста.
  - Подавляет соматостатин.

- **Секреция пепсина и соляной кислоты в желудке**
  - Стимулируют ацетилхолин, гистамин, гастрин.
  - Подавляют соматостатин и желудочный ингибирующий пептид.

- **Моторика желудка**
  - Стимулируют ацетилхолин, мотилин, VIP.
  - Подавляют соматостатин, холецистокинин, адреналин, норадреналин, желудочный ингибирующий пептид.

ВЛИЯНИЕ ГОРМОНОВ НА ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЖКТр

- **Перистальтика кишечника**
  - Стимулируют ацетилхолин, гистамин, гастрин (подавляет эвакуацию из желудка), холецистокинин, серотонин, брадикинин, VIP.
  - Подавляют соматостатин, секретин, адреналин, норадреналин.

- **Секреция сока поджелудочной железы**
  - Стимулируют ацетилхолин, холецистокинин, секретин.
  - Подавляет соматостатин.

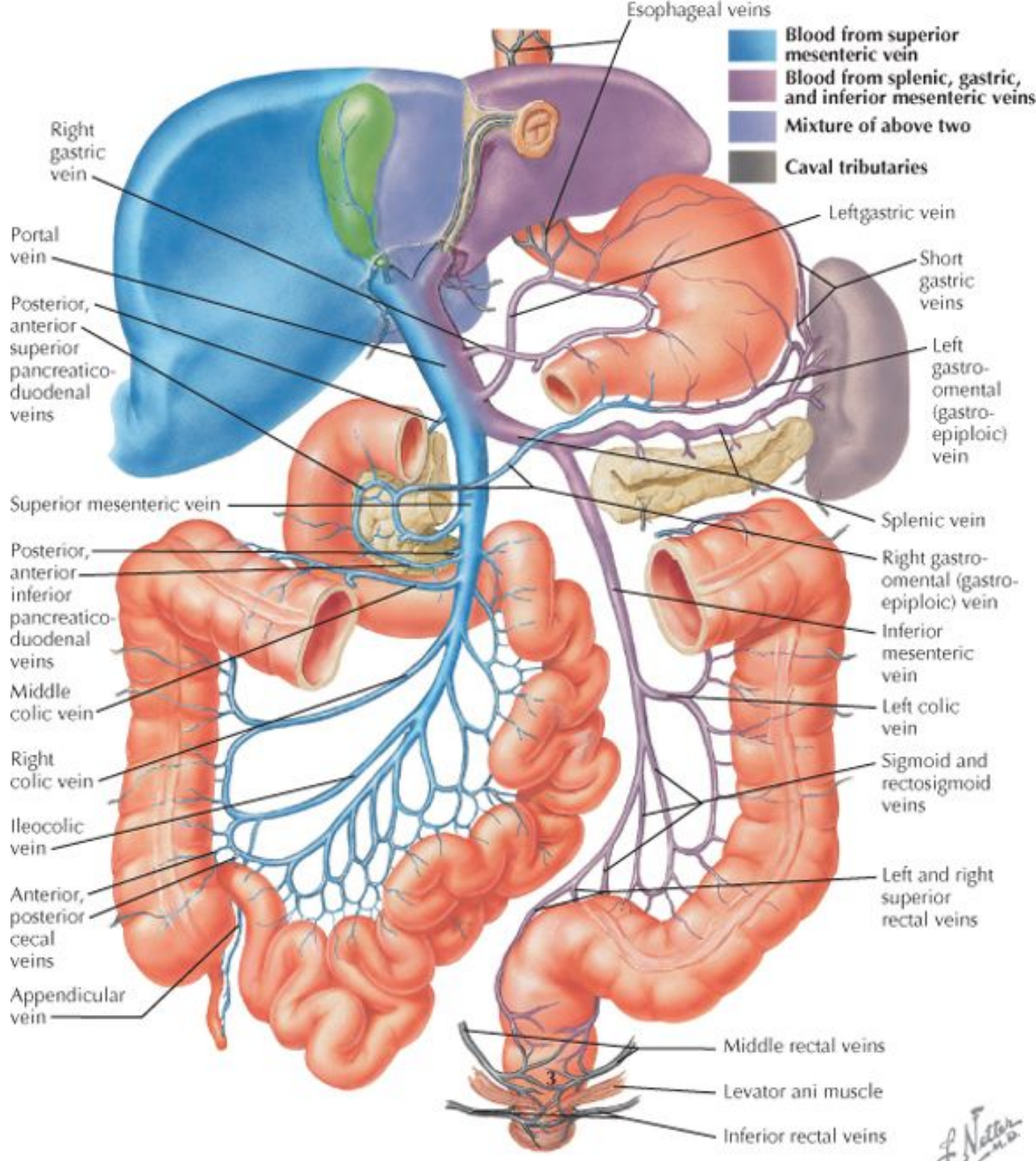
- **Желчеотделение**
  - Стимулируют гастрин, холецистокинин.

Кровообращение в ЖКТр

- значение
  - эффективное переваривание и всасывание;
- на пике пищеварения
  - кровоток возрастает в раза;
- кровоснабжение из чревных (верхней и нижней брыжеечных артерий),
  - капилляры внутри ворсинок;
- отток крови через портальную вену к печени:
  - абсорбированные вещества поступают в печень

Лимфатические сосуды

- капилляры в ворсинках тонкого кишечника
  - роль в абсорбции липидов
- простираются к печени
  - всасывание воды и пептидов
  - транспорт их в системную венозную сеть
    - роль в поддержании онкотического давления
    - использование белков для синтеза гормонов, транспорта кальция, железа


Esophageal veins
Blood from superior mesenteric vein
Blood from splenic, gastric, and inferior mesenteric veins
Mixture of above two
Caval tributaries
Right gastric vein
Portal vein
Posterior, anterior superior pancreatico-duodenal veins
Superior mesenteric vein
Posterior, anterior inferior pancreatico-duodenal veins
Middle colic vein
Right colic vein
Ileocolic vein
Anterior, posterior cecal veins
Appendicular vein
Leftgastric vein
Short gastric veins
Left gastro-omental (gastro-epiploic) vein
Splenic vein
Right gastro-omental (gastro-epiploic) vein
Inferior mesenteric vein
Left colic vein
Sigmoid and rectosigmoid veins
Left and right superior rectal veins
Middle rectal veins
Levator ani muscle
Inferior rectal veins
F. Netter M.D.