

Тема 5.1 «Система органов пищеварения. Обмен веществ»

ВВЕДЕНИЕ. ПИЩЕВАРЕНИЕ И МЕТАБОЛИЗМ КАК ОСНОВА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Человеческий организм представляет собой открытую термодинамическую систему, непрерывно обменивающуюся с окружающей средой веществом, энергией и информацией. Поддержание структурной целостности, гомеостаза, а также обеспечение всех видов физиологической активности возобновляемой энергией возможно исключительно благодаря процессам **пищеварения** (*digestio*) и **обмена веществ** (**метаболизма**, *metabolismus*).

Пищеварение — это сложный совокупный физико-химический процесс, заключающийся в механической обработке пищи, ее гидролитическом расщеплении высокоспецифичными ферментами до элементарных мономеров, лишенных видовой специфичности, и последующем всасывании этих мономеров во внутреннюю среду организма (кровь и лимфу).

Пищеварительный тракт вместе с крупными пищеварительными железами формирует **систему органов пищеварения** (*systema digestorium*). Поступающие нутриенты (белки, липиды, углеводы, минеральные соли, витамины и вода) включаются в промежуточный обмен — **метаболизм**, состоящий из двух противоположных, но диалектически неразрывных процессов:

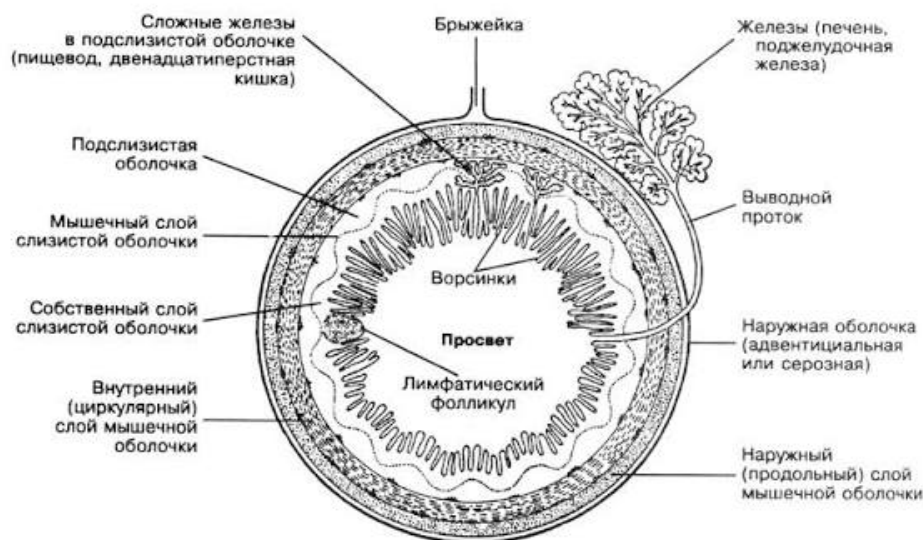
1. **Анаболизм (ассимиляция):** совокупность биохимических реакций синтеза специфических структурных компонентов клеток, тканей и депонирующих веществ с затратой энергии АТФ.
2. **Катаболизм (диссимиляция):** совокупность реакций ферментативного распада и окисления сложных органических молекул до простых конечных продуктов (CO_2, H_2O, NH_3 , мочевины) с высвобождением химической энергии, аккумуляцией ее в форме высокоэнергетических фосфатных связей (АТФ) и ее рассеиванием в виде тепла.

Учение о пищеварении и метаболизме опирается на фундаментальные труды великого русского физиолога, лауреата Нобелевской премии академика **И. П. Павлова**, создавшего хронический экспериментальный метод фистул, и академика **А. М. Уголева**, открывшего пристеночное (мембранное) пищеварение.

1. ОБЩИЙ ПЛАН СТРОЕНИЯ И ГИСТОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА (*CANALIS ALIMENTARIUS*)

Пищеварительный тракт (*canalis alimentarius*) представляет собой трубку длиной около 8–10 метров, простирающуюся от ротового отверстия до заднего прохода. На всем протяжении стенка пищеварительной трубки сохраняет единый четырехслойный принцип гистологической организации.

Рис. 1. Четырехслойная гистологическая архитектура стенки пищеварительной трубки: слизистая оболочка, подслизистая основа, мышечная оболочка, серозная/адвентициальная оболочка.



1.1. Закономерности строения стенки пищеварительной трубки

1. **Слизистая оболочка (*tunica mucosa*):** внутренний слой, непосредственно контактирующий с химусом. Включает три гистологических пласта:
 - *Эпителиальная пластинка (epithelium mucosae)*: в переднем и заднем отделах (полость рта, глотка, пищевод, анальный канал) представлена многослойным плоским неороговевающим эпителием (защитная функция); в среднем отделе (желудок, тонкая и толстая кишка) — однослойным призматическим эпителием (секреторная и всасывательная функции).
 - *Собственная пластинка (lamina propria mucosae)*: рыхлая волокнистая соединительная ткань, содержащая кровеносные и лимфатические капилляры, железы и скопления лимфоидной ткани (одиночные и группированные лимфоидные фолликулы — Пейеровы бляшки).
 - *Мышечная пластинка слизистой оболочки (lamina muscularis mucosae)*: тонкий слой гладких миоцитов, обеспечивающий подвижность рельефа слизистой оболочки (формирование складок и ворсинок).
2. **Подслизистая основа (*tunica submucosa*):** сформирована рыхлой соединительной тканью с высоким содержанием эластических волокон, крупными сосудистыми сплетениями и интрамуральным **подслизистым нервным сплетением Мейсснера (*plexus submucosus Meissner*)**, регулирующим секреторную активность желез и тонус гладких мышц слизистой.
3. **Мышечная оболочка (*tunica muscularis*):** в большинстве отделов образована двумя слоями гладкой мышечной ткани: внутренним **циркулярным (*stratum circulare*)** и наружным **продольным (*stratum longitudinale*)** (в желудке имеется дополнительный внутренний слой косых волокон, *fibrae obliquae*). В переднем отделе (полость рта, глотка, верхняя треть пищевода) и наружном сфинктере заднего прохода мышечная ткань представлена поперечнополосатой скелетной мускулатурой. Между мышечными слоями залегает **межмышечное мышечно-кишечное нервное сплетение Ауэрбаха (*plexus myentericus Auerbach*)**, координирующее перистальтику.
4. **Серозная оболочка (*tunica serosa*) / Адвентиция (*tunica adventitia*):** наружный слой. Органы, лежащие интраперитонеально (желудок, тощая и подвздошная кишка, слепая, поперечно-ободочная и сигмовидная кишки), покрыты серозной оболочкой —

брюшиной (*peritoneum* — однослойный плоский мезотелий с подлежащей соединительной тканью). Экстраперитонеальные органы (пищевод, грудная часть, ретроперитонеальные участки) покрыты рыхлой соединительнотканной **адвентицией**.

2. АНАТОМО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЗОР ОРГАНОВ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА

СХЕМА ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА:

Полость рта (*Cavitas oris*) → Глотка (*Pharynx*) → Пищевод (*Oesophagus*)



Желудок (*Gaster / Ventriculus*)



Тонкая кишка (*Intestinum tenue*):

- Двенадцатиперстная кишка (*Duodenum*) ← (Желчь из печени + Сок поджелудочной железы)
- Тощая кишка (*Jejunum*)
- Подвздошная кишка (*Ileum*)



Толстая кишка (*Intestinum crassum*):

- Слепая кишка (*Caecum*) с аппендиксом (*Appendix vermiformis*)
- Ободочная кишка (*Colon ascendens, transversum, descendens, sigmoideum*)
- Прямая кишка (*Rectum*) → Анальный канал (*Canalis analis*)

2.1. Полость рта (*Cavitas oris*) и слюнные железы

Полость рта подразделяется на **преддверие рта** (*vestibulum oris*) и **собственную полость рта** (*cavitas oris propria*). В полости рта осуществляются апробация вкуса, механическое измельчение пищи (жевание, *masticatio*), смачивание слюной, первичный гидролиз углеводов и формирование пищевого комка (*bolus*).

- **Зубы (*dentes*):** высокоминерализованные органы апробации и измельчения пищи, укрепленные в альвеолах челюстей посредством периодонта (вколачивание, *gomphosis*). Взрослый человек имеет 32 постоянных зуба (зубная формула в половине челюсти: 2 резца, 1 клык, 2 премоляра, 3 моляра). Каждый зуб состоит из коронки (*corona dentis*), шейки (*collum*) и корня (*radix*). Основу зуба составляет **дентин** (*dentinum*), покрытый в области коронки прочнейшей **эмалью** (*enamelum*), а в области корня — **цементом** (*cementum*). Внутри находится полость зуба, заполненная сосудисто-нервной **пульпой** (*pulpa dentis*).
- **Язык (*lingua*):** мышечный орган, покрытый слизистой оболочкой с сосочками (нитевидные, грибовидные, желобоватые, листовидные). Участвует в перемешивании пищи, вкусовой рецепции, глотании и артикуляции речи.

Слюнные железы (*Glandulae salivariae*)

В полость рта открываются протоки малых и трех пар крупных слюнных желез:

1. **Околоушная железа (*glandula parotidea*):** сложная альвеолярная серозная (белковая) железа. Выводной проток (*ductus parotideus*, Стенонов проток) открывается на бугорке преддверия рта на уровне второго верхнего большого моляра.
2. **Поднижнечелюстная железа (*glandula submandibularis*):** сложная альвеолярно-трубчатая смешанная (белково-слизистая) железа. Выводной проток (*ductus submandibularis*, Вартонов проток) открывается на подъязычном сосочке (*caruncula sublingualis*).

3. **Подъязычная железа (*glandula sublingualis*):** сложная альвеолярно-трубчатая преимущественно слизистая железа. Большой подъязычный проток (*ductus sublingualis major*, Бартолинов проток) открывается совместно с Вартоновым протоком на подъязычном сосочке.

Рис. 2. Крупные слюнные железы: околоушная, поднижнечелюстная и подъязычная железы и их выводные протоки.



Состав и физиология слюны (*saliva*): За сутки выделяется около 0,5–2,0 л слюны ($\text{pH} = 6,8\text{--}7,4$). На 99% состоит из воды; неорганический остаток представлен ионами Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- . Органический остаток включает:

- **Муцин:** гликопротеин, придающий слюне вязкость, склеивающий пищевые частицы в сочный пищевой комок и облегчающий глотание.
- **Антибактериальные агенты:** **лизоцим** (мурамидаза, разрушающая клеточные стенки бактерий), лактоферрин, секреторный иммуноглобулин А (*sIgA*).
- **Ферменты:** **α -амилаза (птиалин)**, расщепляющая полисахариды (крахмал, гликоген) до декстринов и мальтозы, и **мальтаза**, расщепляющая мальтозу до глюкозы.

Секреция слюны регулируется рефлексорно: безусловнорефлексорно (при раздражении вкусовых и механорецепторов полости рта, центр в продолговатом мозге) и условнорефлексорно (на вид, запах пищи, обстановку приема пищи — опыты И. П. Павлова). Парасимпатическая иннервация (VII и IX пары ЧН) стимулирует выделение обильной жидкой белковой слюны; симпатическая иннервация — выделение малого количества густой слизистой слюны.

2.2. Глотка (*Pharynx*) и пищевод (*Oesophagus*). Акт глотания

- **Глотка (*pharynx*):** мышечная трубка, протянувшаяся от основания черепа до уровня VI–VII шейных позвонков. Включает носоглотку (*pars nasalis*), ротоглотку (*pars oralis*) и гортаноглотку (*pars laryngea*). Перекрест пищеварительного и дыхательного путей. В стенке глотки залегает лимфоэпителиальное **глоточное кольцо Пирогова** —

Вальдейера (миндалины: язычная, нёбные, трубные, глоточная), выполняющее барьерно-иммунную роль.

- **Пищевод (*oesophagus*)**: мышечный орган длиной 25–30 см, транспортирующий пищевой комок из глотки в желудок. Имеет шейную, грудную и брюшную части. Имеет 3 анатомических сужения (аортальное, бронхиальное, диафрагмальное) и 2 физиологических сфинктера (верхний и нижний пищеводные сфинктеры).

Акт глотания (*deglutitio*): Сложный координированный рефлекторный акт, включающий три фазы:

1. *Ротовая (произвольная) фаза*: пищевой комок движением языка перемещается за передние дужки мягкого нёба на корень языка.
2. *Глоточная (быстрая непроизвольная) фаза*: раздражение рецепторов корня языка и глотки запускает рефлекс: мягкое нёбо поднимается, перекрывая вход в носоглотку; гортань поднимается, и надгортанник (*epiglottis*) перекрывает вход в дыхательные пути; сокращение констрикторов глотки протолкает комок в пищевод. Центр глотания находится в продолговатом мозге.
3. *Пищеводная (медленная непроизвольная) фаза*: продвижение комка по пищеводу за счет перистальтической волны (скорость 2–4 см/с) и силы тяжести.

2.3. Желудок (*Gaster / Ventriculus*)

Желудок — мешкообразное расширение пищеварительного тракта объемом 1,5–2,5 л, выполняющее функции резервуара, механического перемешивания, химической обработки химуса пепсином и соляной кислотой, всасывания воды, спирта и секреции антианемического фактора Касла.

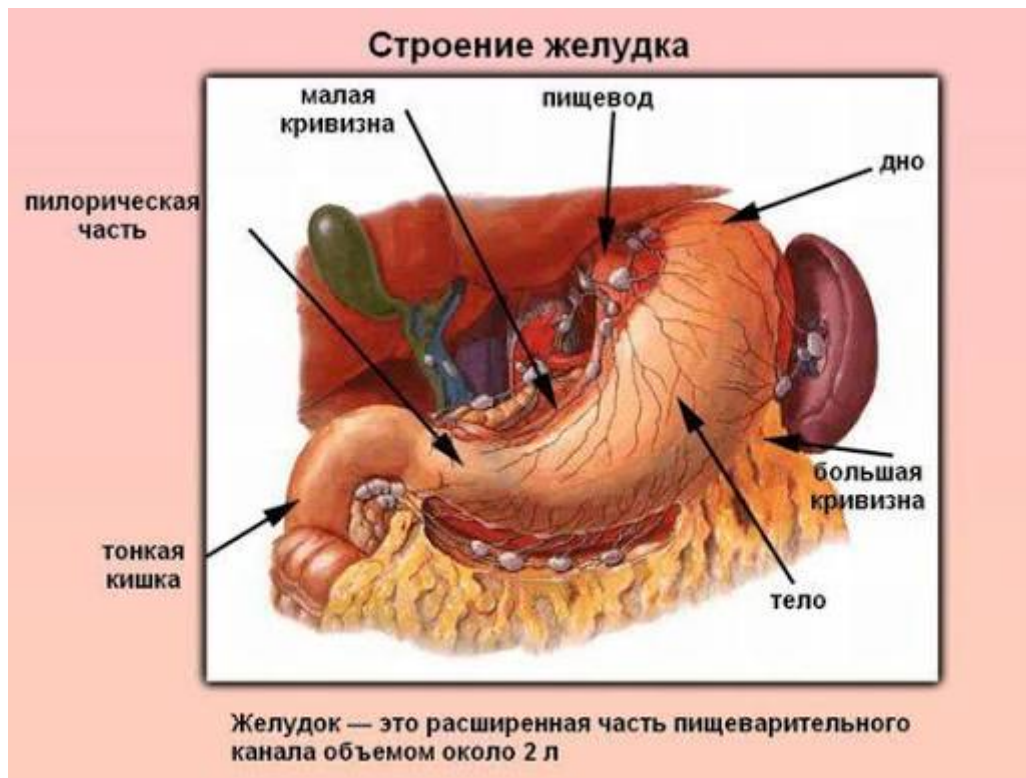


Рис. 3. Анатомия желудка: кардиальная часть, дно (свод), тело, пилорическая часть, малая и большая кривизны, пилорический сфинктер.

Анатомические отделы желудка:

1. **Кардиальная часть (*pars cardiaca*):** прилегает к входу из пищевода (*ostium cardiacum*).
2. **Дно (свод) желудка (*fundus / fornix gasteris*):** куполообразная часть, обращенная вверх и влево, содержащая газовый пузырь.
3. **Тело желудка (*corpus gasteris*):** средняя крупная часть.
4. **Пилорическая (вратниковая) часть (*pars pylorica*):** подразделяется на пилорическую пещеру (*antrum pyloricum*) и канал вратника (*canalis pyloricus*), заканчивающийся отверстием вратника (*ostium pyloricum*), снабженным мощным кольцевым **сфинктером вратника (*m. sphincter pyloricus*)**.
5. Выделяют **малую кривизну (*curvatura gasteris minor*)** и **большую кривизну (*curvatura gasteris major*)**.

Гистофизиология желез желудка

Слизистая оболочка желудка образует многочисленные складки (*plicae gastricae*), желудочные поля (*areae gastricae*) и желудочные ямочки (*foveolae gastricae*), в которые открываются выводные протоки трубчатых желудочных желез.

В собственных железах желудка (в области дна и тела) выделяют 4 типа клеток:

1. **Главные экзокриноциты (*endocrinocyti cardinales*):** секретируют неактивные протеолитические ферменты — **пепсиногены** (пепсиноген А и пепсиноген Б).
2. **Париетальные (обкладочные) экзокриноциты (*endocrinocyti parietales*):** содержат интрацитоплазматические канальцы с H^+/K^+ -АТФазой (протоновой помпой). Секретируют **соляную кислоту (HCl)** и **внутренний фактор Касла** (мукопротеин, необходимый для связывания витамина B_{12} и его последующего всасывания в подвздошной кишке).
3. **Мукоциты (добавочные клетки):** секретируют щелочную слизь (**муцин**), содержащую гидрокарбонаты (HCO_3^-), формирующую слизистый барьер (толщиной 0,5–1,5 мм), защищающий стенку желудка от самопереваривания пепсином и повреждения соляной кислотой.
4. **Эндокриноциты (G-клетки, ECL-клетки):** относятся к APUD-системе. G-клетки антрума секретируют гормон **гастрин**; ECL-клетки секретируют **гистамин**; D-клетки — соматостатин.

Состав и значение желудочного сока (*succus gastricus*): За сутки выделяется 1,5–2,5 л сока с резко кислой реакцией ($pH = 1,5–2,0$).

- **Функции соляной кислоты (HCl):**
 - Активация пепсиногена путем отщепления ингибиторного пептида с переводом его в активный **пепсин**;
 - Создание оптимального pH (1,5–2,0) для действия пепсина;
 - Денатурация и набухание белков пищи, облегчающее их ферментативный гидролиз;
 - Бактерицидное и антисептическое действие;

- Стимуляция секреции моторики и открывания/закрывания пилорического сфинктера.
- **Ферменты:**
 - **Пепсин:** эндопептидаза, расщепляющая внутренние пептидные связи белков до альбумоз и пептонов (крупных полипептидов).
 - **Гастриксин:** протеаза, активная при менее кислом pH (3,0–3,5).
 - **Липаза желудка:** слабая липаза, расщепляющая только эмульгированные жиры (например, жиры молока).

Регуляция желудочной секреции (Фазы по И. П. Павлову):

1. *Сложнорефлекторная (мозговая / цефалическая) фаза:* выделение «аппетитного» или «запального» сока в ответ на условные (вид, запах) и безусловные (раздражение рецепторов рта) стимулы (опыты с мнимым кормлением). Сигнал идет по блуждающим нервам (*n. vagus*).
2. *Желудочная фаза:* запуск секреции при растяжении желудка химусом (ваго-вагальный рефлекс) и химическом раздражении экстрактивными веществами пищи, стимулирующими выделение **гастрина** G-клетками. Гастрин и гистамин мощно активируют H^+/K^+ -АТФазу париетальных клеток.
3. *Кишечная фаза:* начинается при переходе химуса в двенадцатиперстную кишку. Вначале слабо стимулирует секрецию, затем при закислении кишки вы свободжаются **секретин** и **холецистокинин (ХЦК)**, тормозящие секрецию HCl и моторику желудка.

2.4. Тонкая кишка (*Intestinum tenue*)

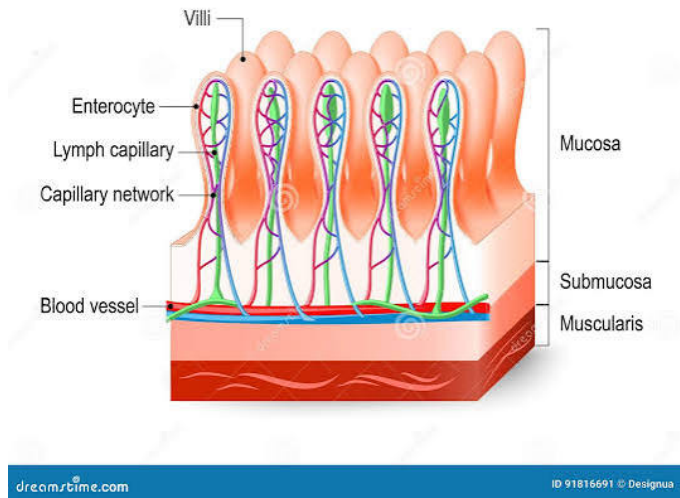
Тонкая кишка — наиболее длинный отдел пищеварительного тракта (3–5 м у живого человека), в котором завершается основной ферментативный гидролиз всех видов нутриентов и осуществляется их интенсивное всасывание.

Анатомически подразделяется на три отдела:

1. **Двенадцатиперстная кишка (*duodenum*):** подковообразный начальный отдел длиной 25–30 см (12 поперечников пальцев), огибающий головку поджелудочной железы. Включает верхнюю, нисходящую, горизонтальную и восходящую части. В нисходящей части на **большом сосочке двенадцатиперстной кишки (Фатеровом сосочке, *papilla duodeni major*)** открывается печеночно-поджелудочная ампула (*ampulla hepatopancreatica*), объединяющая общий желчный проток (*ductus choledochus*) и главный проток поджелудочной железы (*ductus pancreaticus*). Снабжен **сфинктером Одди (*m. sphincter ampullae hepatopancreaticae*)**.
2. **Тощая кишка (*jejunum*):** составляет 2/5 длины петливой части тонкой кишки, располагается в верхней левой части брюшной полости.
3. **Подвздошная кишка (*ileum*):** составляет 3/5 длины, располагается в правой нижней части брюшной полости и правой подвздошной ямке, впадая в слепую кишку через **илеоцекальный клапан (баугиниеву заслонку, *valva ileocaecalis*)**.

*Рис. 4. Структура кишечной ворсинки (*Villus intestinalis*): однослойный призматический эпителий с микроворсинками, кровеносное капиллярное русло и центральный лимфатический капилляр (хилусный синус).*

INTESTINAL VILLI



Морфологические приспособления для увеличения всасывательной поверхности

Суммарная всасывательная поверхность тонкой кишки достигает 200–300 м² за счет трех уровней рельефа:

1. **Керкринговы циркулярные складки (*plicae circulares*):** сформированы слизистой оболочкой и подслизистой основой (около 800 складок).
2. **Кишечные ворсинки (*villi intestinales*):** пальцевидные выросты слизистой оболочки высотой 0,5–1,5 мм (около 4–10 млн ворсинок). Покрываются однослойным столбчатым каемчатым эпителием. В центре каждой ворсинки проходит слепой **лимфатический капилляр (млечный синус, *vas lymphaticum centrale*)**, широкая кровеносная капиллярная сеть и пучки гладких миоцитов, сокращение которых выжимает всасавшиеся вещества в сосудистое русло (автоматика ворсинок).
3. **Микроворсинки (*microvilli*):** выросты апикальной плазмолеммы энтероцитов длиной 1 мкм (около 3000 на одном энтероците), формирующие **щеточную каемку**.

Между ворсинками в собственную пластинку погружены трубчатые выпячивания — **крипты Либеркюна (*cryptae intestinales*)**, являющиеся зоной пролиферации стволовых клеток и секреции кишечного сока.

Пристеночное (мембранное) пищеварение (Теория А. М. Уголева)

Академик А. М. Уголев доказал существование трех последовательных этапов пищеварения:

1. **Полостное пищеварение:** гидролиз крупных молекул пищевых полимеров растворенными ферментами в полости кишки.
2. **Пристеночное (мембранное) пищеварение:** происходит в слое гликокаликса и на мембране микроворсинок щеточной каемки энтероцитов. В гликокаликс адсорбируются ферменты поджелудочной железы и фиксируются собственные ферменты кишечной мембраны (дисахаридазы, пептидазы, фосфатазы). Мембранный

гидролиз идет с высочайшей скоростью и стерильно, сразу сопрягаясь с процессами активного транспорта.

3. Всасывание.

2.5. Толстая кишка (*Intestinum crassum*)

Толстая кишка длиной 1,5–2,0 м осуществляет всасывание воды (до 1,5–2,0 л/сутки) и электролитов, формирование, накопление и эвакуацию каловых масс, а также служит местом обитания симбиотической микрофлоры (микробиоты).

Анатомически подразделяется на:

1. **Слепую кишку (*caecum*)**: мешкообразный отдел ниже илеоцекального клапана, от которого отходит **червеобразный отросток (аппендикс, *appendix vermiformis*)** — орган местной иммунной защиты («кишечная миндалина»).
2. **Ободочную кишку (*colon*)**:
 - Восходящая ободочная кишка (*colon ascendens*);
 - Поперечная ободочная кишка (*colon transversum*);
 - Единично изогнутая нисходящая ободочная кишка (*colon descendens*);
 - Сигмовидная ободочная кишка (*colon sigmoideum*).
3. **Прямую кишку (*rectum*)**: терминальный отдел, лежащий в полости малого таза. Состоит из ампулы прямой кишки (*ampulla recti*) и анального канала (*canalis analis*), заканчивающегося задним проходом (*anus*). Имеет непроизвольный внутренний сфинктер (*m. sphincter ani internus*, гладкая мускулатура) и произвольный наружный сфинктер (*m. sphincter ani externus*, поперечнополосатая мускулатура).

Анатомические отличия толстой кишки от тонкой:

1. Наличие трех продольных мышечных лент — **тент ободочной кишки (*teniae coli*)** (волокнистая, сальниковая, брыжеечная).
2. Наличие вздутий — **гаустр ободочной кишки (*haustra coli*)**, образующихся из-за несоответствия длины лент и кишки.
3. Наличие **сальниковых отростков (*appendices omentales / adipose*)** — выпячиваний брюшины, заполненных жировой тканью.
4. Отсутствие ворсинок на слизистой оболочке (слизистая имеет только крипты) и богатство бокаловидными клетками, секретирующими слизь.

Роль кишечной микробиоты: Симбиотическая микрофлора (бифидобактерии, лактобактерии, кишечная палочка):

- Осуществляет сбраживание непереваренных углеводов (клеточки) и гниение белков;
- Синтезирует **витамин К** (необходим для коагуляционного гемостаза) и **витамины группы В** (B_1, B_2, B_6, B_{12} , фолиевую кислоту);
- Обеспечивает колонизационную резистентность от патогенных штаммов;
- Стимулирует созревание иммунной системы (GALT-ткани).

3. КРУПНЫЕ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫЕ ЖЕЛЕЗЫ

3.1. Печень (Hepar) и желчевыводящая система

Печень — крупнейшая железа человеческого организма (масса 1,5–1,8 кг), выполняющая функции «главной биохимической лаборатории». Занимает правое и частично левое подреберье.



Рис. 5. Гистологическое строение классической печеночной дольки (*Lobulus hepaticus*): центральная вена, радиальные гепатоцитные балки, синусоидные капилляры и печеночная триада.

Морфология и гистология печени

Печень имеет диафрагмальную (*facies diaphragmatica*) и висцеральную (*facies visceralis*) поверхности. На висцеральной поверхности располагаются ворота печени (*porta hepatis*), через которые входят **воротная вена (v. portae)**, **собственная печеночная артерия (a. hepatica propria)** и нервы, а выходят **общий печеночный проток (ductus hepaticus communis)** и лимфатические сосуды.

- **Печеночная долька (lobulus hepaticus):** структурно-функциональная единица печени призматической формы диаметром 1–2 мм (в печени около 500 тыс. долек).
- В центре дольки проходит **центральная вена (v. centralis)**.
- Вокруг центральной вены радиально расходятся пластинки (балки) из **гепатоцитов** — печеночных клеток.
- Между балочными гепатоцитами проходят **синусоидные капилляры**, в стенке которых залегают эндотелиоциты и звездчатые макрофаги (**клетки Купфера**), обеспечивающие фагоцитоз чужеродных частиц и старых эритроцитов.
- Синусоиды получают смешанную кровь из печеночной триады (междольковых артерий и междольковых вен).
- На периферии смежных долек располагаются **печеночные триады** (междольковая артерия, междольковая вена и междольковый желчный проток).
- Внутри гепатоцитных балок (между двумя рядами гепатоцитов) располагаются слепые **желчные капилляры (проточки, canaliculi biliferi)**, не имеющие собственной стенки.

Желчь течет от центра дольки к периферии (противоток относительно движения крови).

Двойное кровообращение печени

Печень получает 75–80% крови через **воротную вену** (*v. portae*), собирающую венозную кровь от всех непарных органов брюшной полости (насыщена всосавшимися нутриентами и токсинами), и 20–25% артериальной крови через **печеночную артерию**. В синусоидах долек кровь смешивается, проходит метаболическую обработку гепатоцитами, собирается в центральные вены, затем в печеночные вены (*vv. hepaticae*), впадающие в нижнюю полую вену (*v. cava inferior*).

Желчеобразование и желчевыделение

Гепатоциты непрерывно секретируют **желчь** (*bilis*) (0,8–1,2 л/сутки).

- *Путь желчи:* желчные капилляры → междольковые проточки → правый и левый печеночные протоки → общий печеночный проток (*ductus hepaticus communis*).
- Соединяясь с пузырным протоком (*ductus cysticus*), общий печеночный проток образует **общий желчный проток** (*ductus choledochus*), открывающийся в двенадцатиперстную кишку.
- В перерывах между пищеварением сфинктер Одди закрыт, и желчь направляется в **желчный пузырь** (*vesica biliaris*), где концентрируется в 5–10 раз за счет всасывания воды (пузырная желчь — темная, вязкая, $pH = 6,0–6,5$; печеночная желчь — золотисто-желтая, жидкая, $pH = 7,5–8,2$).

Состав и физиологические функции желчи: Желчь не содержит гидролитических ферментов (за исключением слабой фосфатазы), но критически необходима для переваривания липидов. Содержит: **желчные кислоты** (холевая, дезоксихолевая, конъюгированные с глицином и таурином), **желчные пигменты** (билирубин и биливердин — продукты распада гемоглобина), холестерин, фосфолипиды (лецитин).

Функции желчи:

1. **Эмульгирование жиров:** желчные кислоты снижают поверхностное натяжение жировых капель, расщепляя их на микроскопические капельки, увеличивая площадь действия липазы в тысячи раз.
2. Активация панкреатической липазы.
3. Растворение продуктов гидролиза жиров и образование водно-растворимых мицелл для всасывания.
4. Нейтрализация кислого желудочного химуса и инактивация пепсина.
5. Стимуляция моторики тонкой кишки и пролиферации энтероцитов.
6. Экскреция холестерина, билирубина, тяжелых металлов и лекарственных веществ.

Многогранные функции печени:

- *Защитная (детоксикационная):* обезвреживание эндогенных токсинов (индола, скатола, фенола, аммиака) и экзогенных веществ.
- *Синтетическая:* синтез 100% альбуминов плазмы крови, большинства факторов свертывания крови (фибриногена, протромбина), липопротеинов, мочевины.

- **Метаболическая:** депонирование гликогена, витаминов (A, D, E, K, B_{12}), микроэлементов (Fe, Cu).

3.2. Поджелудочная железа (Pancreas)

Поджелудочная железа — вторая по величине железа (длина 15–22 см, масса 70–80 г), располагающаяся забрюшинно на уровне I–II поясничных позвонков позади желудка. Анатомически включает головку (*caput*), тело (*corpus*) и хвост (*cauda*).

Смешанная железа, состоящая из экзокринового и эндокринового отделов:

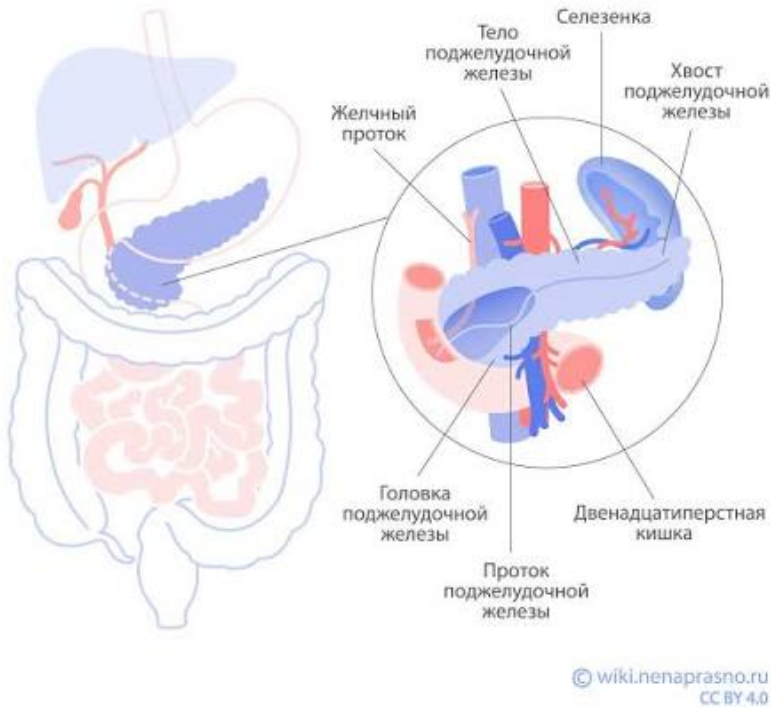


Рис. 6. Архитектоника поджелудочной железы: ацинусы экзокриновой части и островки Лангерганса эндокриновой части.

1. Экзокриновая часть (98% массы железы)

Представлена панкреатическими **ацинусами** (*acini pancreatici*) и системой выводных протоков. Ацинарные клетки секретируют **панкреатический сок** (*succus pancreaticus*) (1,5–2,0 л/сутки, $pH = 7,8–8,4$), содержащий высокую концентрацию гидрокарбонатов (HCO_3^-) для нейтрализации HCl желудка и полный спектр ферментов для гидролиза всех типов биополимеров:

- **Протеолитические ферменты (выделяются в виде неактивных проферментов):**
 - **Трипсиноген:** активируется в кишке ферментом энтероцитов **энтерокиназой** (энтеропептидазой) путем отщепления гексапептида с образованием **трипсина**. Трипсин автокаталитически активирует остальные проферменты.
 - **Химотрипсиноген** (переводится трипсином в химотрипсин).
 - **Прокарбоксипептидазы А и Б** (переводятся в карбоксипептидазы, отщепляющие С-концевые аминокислоты).

- **Прозластаза** (переводится в эластазу).
- **Липолитические ферменты:**
 - **Панкреатическая липаза:** расщепляет эмульгированные желчью триглицериды до моноглицеридов и жирных кислот.
 - **Фосфолипаза A2:** активируется трипсином, расщепляет фосфолипиды.
- **Амилолитические ферменты:**
 - **Панкреатическая α -амилаза:** мощный фермент, расщепляющий полисахариды до дисахаридов.
- **Нуклеолитические ферменты:** рибонуклеаза (РНКаза) и дезоксирибонуклеаза (ДНКаза).

2. Эндокриновая часть (2% массы)

Представлена **островками поджелудочной железы (островками Лангерганса, *insulae pancreaticae*)**, рассеянными преимущественно в хвосте железы. Островки не имеют протоков и выделяют гормоны в кровь:

- **α -клетки (20%):** секретируют **глюкагон** (гипергликемический фактор, стимулирует гликогенолиз и глюконеогенез в печени).
- **β -клетки (70–75%):** секретируют **инсулин** (анаболический гипогликемический гормон, повышает проницаемость мембран клеток для глюкозы, стимулирует синтез гликогена, белков и жиров).
- **δ -клетки:** секретируют **соматостатин** (ингибирует секрецию инсулина, глюкагона и панкреатического сока).
- **F-клетки (PP-клетки):** секретируют панкреатический полипептид.

Регуляция панкреатической секреции:

- **Нервная:** блуждающий нерв (*n. vagus*) стимулирует выделение сока, богатого ферментами.
- **Гуморальная:**
 - **Секретин:** выделяется S-клетками слизистой двенадцатиперстной кишки при попадании кислой HCl ; стимулирует выделение обильного сока, богатого HCO_3^- , но бедного ферментами.
 - **Холецистокинин (ХЦК / панкреозимин):** выделяется I-клетками кишки при попадании продуктов гидролиза белков и жиров; стимулирует выделение сока, богатого ферментами, и сокращение желчного пузыря.

4. ФИЗИОЛОГИЯ ВСАСЫВАНИЯ (ABSORPTIO)

Всасывание — это активный физиологический процесс переноса веществ из просвета пищеварительного тракта через слой эпителиальных клеток в кровь и лимфу. Основным отделом всасывания служит тонкая кишка.

МЕХАНИЗМЫ ВСАСЫВАНИЯ НА МЕМБРАНЕ ЭНТЕРОЦИТА:

1. Всасывание Углеводов (Глюкоза, Галактоза):

Вторично-активный транспорт через SGLT-1 (симпорт с Na^+) на апикальной мембране
→ Выход через GLUT-2 на базальной мембране в кровеносный капилляр ворсинки → Система *v. portae*.

Фруктоза всасывается путем облегченной диффузии через GLUT-5.

2. Всасывание Белка (Аминокислоты, ди- и трипептиды):

Вторично-активный транспорт Na^+ -зависимыми и H^+ -зависимыми (PerT1) переносчиками
→ Гидролиз пептидов цитозольными пептидазами → Выход аминокислот в капилляры ворсинки → v. portae.

3. Всасывание Липидов (Жирные кислоты, Моноглицериды):

Образование мицелл с желчными кислотами → Пассивная диффузия через липидный бислой
→ Ресинтез триглицеридов в эндоплазматическом ретикулуме энтероцита
→ Упаковка в Хиломикроны (вместе с апопротеинами) → Экзоцитоз в Млечный лимфатический синус ворсинки.

5. ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ (METABOLISMUS ET BIOENERGETICA)

Обмен веществ включает промежуточный (тканевой) метаболизм absorbed нутриентов.

5.1. Обмен углеводов

Углеводы служат главным быстрообращаемым энергетическим субстратом организма (1 г углеводов = 4,1 ккал/17,15 кДж). Уровень глюкозы в крови в норме натощак составляет 3,3–5,5 ммоль/л (гипергликемия > 5,5 ммоль/л, гипогликемия < 3,3 ммоль/л).

Основные пути метаболизма глюкозы:

1. **Гликолиз:** анаэробный распад глюкозы до пирувата/лактата с образованием 2 молекул АТФ.
2. **Аэробное окисление:** декарбоксилирование пирувата → ацетил-СоА → **цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса)** и окислительное фосфорилирование в митохондриях. Суммарный выход: 38 молекул АТФ на 1 молекулу глюкозы.
3. **Гликогенез:** синтез резервного полисахарида **гликогена** в печени и скелетных мышцах.
4. **Гликогенолиз:** расщепление гликогена до глюкозо-6-фосфата при дефиците энергии.
5. **Глюконеогенез:** синтез глюкозы *de novo* из неуглеводных предшественников (лактата, глицерина, аминокислот) в печени и почках.

Нейрогуморальная регуляция:

- **Единственный гипогликемический гормон: инсулин** (активирует GLUT-4, гликолиз и синтез гликогена).
- **Гипергликемические гормоны: глюкагон, адреналин** (быстрый гликогенолиз), **кортизол** (стимулирует глюконеогенез), **СТГ (гормон роста)**, тиреоидные гормоны (T_3, T_4).

5.2. Обмен белков

Белки — пластический фундаментальный субстрат жизни (1 г белка = 4,1 ккал/17,15 кДж). Аминокислоты подразделяются на **заменимые** (синтезируются в организме) и **незаменимые** (8 аминокислот: валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин; для детей также гистидин и аргинин), которые обязательно должны поступать с пищей.

Азотистый баланс: соотношение количества азота, поступившего с белковой пищей, и азота, выведенного из организма (с мочевиной, креатинином, мочевой кислотой).

- *Азотистое равновесие:* количество поступившего N равно выведенному (здоровый взрослый).
- *Положительный азотистый баланс:* поступление N превышает выведение (растущий организм детей, беременность, реконвалесценция, бодибилдинг).
- *Отрицательный азотистый баланс:* выведение N превышает поступление (голодание, тяжелые ожоги, кахексия, старение).

Метаболизм аминокислот:

- **Трансаминирование:** перенос аминогруппы (реакции АЛТ и АСТ).
- **Деаминация:** отщепление аминогруппы с образованием токсичного аммиака (NH_3).
- **Орнитинный цикл синтеза мочевины (цикл Кребса — Хенселейта):** протекает исключительно в печени, где токсичный аммиак связывается с CO_2 с образованием нетоксичной мочевины, выводимой почками.

5.3. Обмен липидов

Липиды — наиболее энергоемкий субстрат (1 г жира = 9,3 ккал/38,9 кДж). Выполняют энергетическую, структурную (мембранную), термоизоляционную, амортизационную и эндокринную функции.

- **Липолиз:** расщепление триглицеридов тканевой триглицеридлипазой до глицерина и высших жирных кислот (ВЖК).
- **β -окисление жирных кислот:** ступенчатый процесс окисления ВЖК в матриксе митохондрий с образованием ацетил-СоА и выработкой колоссального количества АТФ (например, окисление пальмитиновой кислоты дает 129 АТФ).
- **Кетогенез:** при избытке ацетил-СоА в печени образуются кетонные тела (ацетоацетат, β -гидроксibuтират, ацетон).
- **Транспорт липидов в крови:** осуществляется в составе **липопротеинов**:
 - *Хиломикроны:* транспорт экзогенного жира из кишечника в ткани;
 - *ЛПОНП (очень низкой плотности):* транспорт эндогенного жира из печени;
 - *ЛПНП (низкой плотности, «плохой холестерин»):* транспорт холестерина к периферическим тканям (атерогенные);
 - *ЛПВП (высокой плотности, «хороший холестерин»):* обратный транспорт холестерина из тканей в печень (антиатерогенные).

5.4. Водно-минеральный обмен

Вода составляет 60% массы тела взрослого человека (2/3 — внутриклеточная жидкость, 1/3 — внеклеточная: интерстициальная жидкость и плазма крови).

- **Регуляция водно-солевого гомеостаза:**
 - **Антидиуретический гормон (АДГ / Вазопрессин):** секретируется гипоталамусом, увеличивает реабсорбцию воды в собирательных трубках почек через аквапорины-2 (удерживает воду).

- **Альдостерон:** гормон коры надпочечников, стимулирует реабсорбцию ионов Na^+ и экскрецию K^+ в почечных канальцах.
- **Предсердный натрийуретический пептид (ПНП):** стимулирует натрийурез и диурез при растяжении предсердий.

5.5. Энергетический обмен и терморегуляция

Все виды работы в организме сопровождаются выделением тепла.

Основной обмен (Metabolismus basalis)

Основной обмен (ОВО) — минимальный уровень энергозатрат, необходимый для поддержания жизнедеятельности организма в условиях полного физического и психического покоя, натошак (через 12–16 часов после приема пищи), при температурном комфорте (20–22°C). В среднем у взрослого мужчины ОВО составляет около 1 ккал/кг/час (приблизительно 1500–1700 ккал/сутки). Факторы, влияющие на ОВО: пол, возраст, рост, масса тела, уровень тиреоидных гормонов.

Рабочий обмен: величина энергетических затрат сверх основного обмена при выполнении физической работы.

Методы исследования энергетического обмена:

1. **Прямая калориметрия:** прямое измерение количества тепла, выделенного организмом в герметичной калориметрической камере.
2. **Непрямая (косвенная) калориметрия:** газометрический анализ объема потребленного кислорода (VO_2) и выдыхаемого углекислого газа (VCO_2).
 - **Дыхательный коэффициент (ДК):** отношение объема выделенного углекислого газа к объему потребленного кислорода ($DK = VCO_2/VO_2$).
 - При окислении углеводов $DK = 1,0$;
 - При окислению белков $DK = 0,8$;
 - При окислении жиров $DK = 0,7$.

Физиология терморегуляции

Человек — гомойотермное существо, поддерживающее постоянство температуры ядра тела (36,5–37,2°C).

- **Химическая терморегуляция (Теплопродукция):** регулирование уровня теплообразования в процессе метаболизма (сократительный термогенез при мышечной дрожи и несократительный термогенез в бурой жировой ткани с участием белка термогенина/UCP1).
- **Физическая терморегуляция (Теплоотдача):** отдаче тепла в окружающую среду путями:
 - Излучения (радиации) — 55%;
 - Теплопроводения (кондукции) и конвекции — 15%;
 - Испарения пота с поверхности кожи и легких — 30% (1 г испарившейся воды отнимает 0,58 ккал).

Центр терморегуляции расположен в **гипоталамусе** (передний гипоталамус — центр теплоотдачи; задний гипоталамус — центр теплопродукции).

6. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ВЫВОДЫ

1. **Единство структуры и функции пищеварительного тракта:** Конвейерный принцип работы системы пищеварения обеспечивается последовательной сменяемостью pH среды (щелочная в полости рта → резко кислая в желудке → слабощелочная в кишечнике), специфичностью ферментативного спектра каждого отдела и трехуровневой морфологической адаптацией тонкой кишки для максимальной площади гидролиза и всасывания.
2. **Ключевая интегративная роль печени и поджелудочной железы:** Печень выступает метаболическим и детоксикационным узлом, а ее желчь эмульгирует липиды, тогда как экзокриногенная часть поджелудочной железы поставляет полный спектр ферментов для окончательного полостного гидролиза белков, жиров и углеводов.
3. **Метаболическая лабильность и закон сохранения энергии:** Все биохимические превращения нутриентов подчиняются первому закону термодинамики. Оценка основного обмена, дыхательного коэффициента и азотистого баланса служит научным фундаментальным базисом для расчета клинических рационов питания и нутритивной поддержки.
4. **Прикладное значение:** Понимание тонких механизмов нейрогуморальной регуляции пищеварения и эндокринного контроля метаболизма крайне важно для диагностики патологий желудочно-кишечного тракта (язвенная болезнь, панкреатит, гепатит) и метаболических нарушений (сахарный диабет, ожирение, атеросклероз).