

## 1. ФИЗИОЛОГИЯ ПИЩЕВАРЕНИЯ

### 1.1. Пищеварение в ротовой полости

Пищеварение в ротовой полости – начальный этап всего пищеварения, обеспечивает: 1) прием пищи, ее анализ, первичную физическую и химическую обработку (измельчение, пропитывание слюной, начальный гидролиз полисахаридов), формирование пищевого комка и глотание; 2) рефлекторную «настройку» функций нижележащих органов пищеварения (преимущественно, желудка и поджелудочной железы).

#### Основные процессы пищеварения в ротовой полости

**1. Рецепция** – одна из важнейших функций ротовой полости. Рецепторы ротовой полости: *вкусовые, тактильные, проприорецепторы* (мышц, связок, пародонта), *терморецепторы* (тепловые и холодовые), *болевые*.

*Влияние на процессы пищеварения:* ① анализ поступающих в ротовую полость веществ (пищевые или отвергаемые), формирование вкусового ощущения; ② анализ процессов обработки пищи в ротовой полости; ③ регуляция жевания и глотания (глотание невозможно при полной анестезии корня языка и глотки, т.к. выключаются соответствующие рефлексы); ④ формирование сенсорного насыщения; ⑤ регуляция функций органов пищеварения – подготовка к обработке принятой пищи. В ответ на раздражение рецепторов ротовой полости (прежде всего, вкусовых) возникают следующие рефлекторные реакции: ↑ слюноотделения, ↑ желудочной секреции, ↓ моторики желудка (рецептивная релаксация – подготавливает желудок к поступлению пищи), ↑ панкреатической секреции, ↑ моторики проксимальных отделов толстой кишки.

*Другие функции:* ① координация движений языка, челюсти и губ при создании звуков речи; ② рефлекторные влияния на кровообращение, например, раздражение тактильных и вкусовых рецепторов (при приеме пищи) – ↓ ЧСС (брадикардия)<sup>1</sup>, наоборот, раздражение болевых рецепторов – ↑ ЧСС.

**2. Моторика.** Жевание осуществляется за счет сокращения жевательных мышц с участием мышц языка и регулируется соматической нервной системой (произвольно). При жевании происходит измельчение пищи и ее смешивание со слюной, что завершается формированием пищевого комка и глотанием. Начальные фазы *глотания* (ротовая и глоточная) обеспечиваются соматическими мышцами языка, дна ротовой полости и глотки. Эти фазы регулируются соматической нервной системой и являются произвольными.

**3. Секреция слюны** – обеспечивается слюнными железами. Необходимо, прежде всего, для формирования пищевого комка (смачивание пищи).

**4. Всасывание** – незначительно (мало времени и готовых к всасыванию веществ): вода, моносахариды, алкоголь, некоторые водорастворимые лекарства. *Особенность:* всосавшиеся вещества попадают в общий кровоток по системе верхней полой вены, а не воротной вены. Таким образом, они не инaktivируются в печени, как вещества, которые всасываются в желудке и в кишке<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> При умеренном раздражении холодовых терморецепторов ротовой полости наблюдаются аналогичные изменения, что также сопровождается снижением потребности миокарда в кислороде и относительном увеличении кровоснабжения сердца. На этом основано действие ментола, который химически раздражает холодовые рецепторы (входит в состав «Валидола»).

<sup>2</sup> □ Поэтому некоторые лекарства (например, нитроглицерин) для ускорения и усиления их действия рекомендуют не глотать, а держать под языком.

**5. Экскреция** – в норме только вода и электролиты. При патологических состояниях могут выделяться также: мочевина и мочевая кислота (при нарушении функции почек), соли тяжелых металлов (например, ртути и свинца при отравлении). Выделение этих веществ может приводить к поражению слизистой оболочки ротовой полости. Пример: черное окрашивание губ («свинцовая кайма») при отравлении солями тяжелых металлов. *Особенность:* выделяемые в ротовой полости вещества действуют на ее рецепторы. Это может сопровождаться возникновением определенных ощущений – привкуса, чувства жжения («осознаваемая экскреция»), что имеет диагностическое значение.

### 1.2. Слюна, её состав, функции и регуляция секреции

**Слюнные железы:** 1) три пары больших желез: поднижнечелюстные, околоушные и подъязычные; 2) множество мелких желез слизистой оболочки ротовой полости.

#### Слюна.

*Объем:* 1,0 – 1,5 л/сут. *Реакция* близка к нейтральной.

*Состав:* 1) вода, электролиты, слизь; 2) пищеварительные ферменты (в основном, α-амилаза); 3) другие биологически активные вещества: лизоцим (фермент, расщепляющий полисахариды клеточной стенки бактерий), иммуноглобулины (антитела), интерфероны, компоненты комплемента, брадикинин (расширяет кровеносные сосуды).

#### Функции слюны

**Пищеварительные функции:** ① смачивание и ослизнение пищевого комка – необходимо для глотания; ② растворение веществ – необходимо для вкусовой рецепции; ③ первичная ферментативная обработка полисахаридов: амилаза слюны катализирует гидролиз полисахаридов (крахмала и гликогена) с образованием олигосахаридов и мальтозы. Действие амилазы ограничено малым временем пребывания пищи во рту, на она продолжает действовать в желудке (внутри пищевого комка), хотя и недолго, т.к. инактивируется в сильно кислой среде желудочного сока.

**Другие функции:** ① увлажнение ротовой полости при речи; ② защита зубов и слизистой оболочки от механических и химических повреждений (слизь)<sup>1</sup>, от действия патогенных микроорганизмов (лизоцим, антитела и др.); ③ очищение полости рта, особенно, межзубных промежутков; ④ участие в минерализации зуба (Ca<sup>2+</sup>, фосфаты), буферные системы слюны (гидрокарбонаты и фосфаты) защищают зубы от действия кислых продуктов жизнедеятельности микрофлоры ротовой полости.

#### Регуляция секреции слюны

**Нервная регуляция** – основная: *безусловнорефлекторная* – при раздражении рецепторов ротовой полости, *условнорефлекторная* – в ответ на вид, запах пищи, звон посуды, разговоры о еде и т.п.

*Парасимпатические волокна* (ацетилхолин, М-холинорецепторы) → секреция большого количества жидкой слюны с низкой концентрацией органических веществ. Увеличение количества слюны отчасти связано с тем, что парасимпатические волокна расширяют кровеносные сосуды слюнных желез.

<sup>1</sup> □ Защитная функция слюноотделения проявляется при попадании на слизистую оболочку ротовой полости раздражающих веществ даже в очень малых количествах, еще не вызывающих ее повреждения, например, этилового спирта или эфира при некоторых стоматологических манипуляциях. Рефлекторная гиперсаливация (секреция «отмывной слюны») в этом случае может затруднять работу врача.

*Симпатические волокна* (норадреналин,  $\alpha_1$ -адренорецепторы) → секреция небольшого количества вязкой слюны с высокой концентрацией слизи. У человека симпатическая регуляция касается практически только поднижнечелюстных слюнных желез.

**Гуморальная регуляция** – имеет второстепенное значение:

- *усиливают секрецию*: брадикинин (расширяет кровеносные сосуды);
- *тормозят секрецию*: адреналин (например, при стрессе).

Секреция слюны происходит постоянно для увлажнения ротовой полости (что важно для речи); при приеме пищи слюноотделение резко усиливается (в основном, за счет секреции околоушных желез). Эмоциональное напряжение, боль угнетают слюноотделение («пересохло во рту» от волнения, страха). При способительный характер слюноотделения у человека заключается в усилении секреции слюны при раздражении вкусовых рецепторов горькими и кислыми веществами (специи).

### 1.3. Пищеварение в желудке

Пища попадает в желудок после обработки в ротовой полости и задерживается в нём от нескольких минут до нескольких часов (в среднем 2–3 ч) в зависимости от объёма и состава пищевого комка. Желудок является резервуаром, в котором происходит депонирование пищи, ее механическая и химическая обработка, приводящая к формированию химуса (пищевой кашицы) и его порционному выведению в 12-перстную кишку.

**Основные процессы пищеварения в желудке**

**1. Рецепция:** рецепторы слизистой оболочки желудка (механо-, хемо-, осмо-, термо-, болевые) запускают нервную регуляцию функций желудка и других органов пищеварения, участвуют в формировании чувства голода и насыщения.

**2. Моторика** – важнейшая функция желудка; включает в себя: • депонирование пищи; • перемешивание и перетирание пищевого комка до полужидкой консистенции; при этом происходит пропитывание пищевого комка желудочным соком с формированием химуса; • периодическую порционную эвакуацию химуса в 12-перстную кишку.

**3. Секреция желудочного сока** – имеет большое значение для химической обработки пищи и регуляции пищеварения; основная особенность – сильно кислая реакция желудочного сока за счёт соляной кислоты.

**4. Всасывание** – незначительно (мало готовых к всасыванию веществ): вода, моносахариды, алкоголь, водорастворимые витамины, некоторые лекарства.

**5. Экскреция** – в норме только вода и электролиты. Могут выделяться также: мочевина и мочевая кислота (при нарушении функции почек), соли тяжелых металлов например, ртути и свинца (при отравлении).

**6. Внутренняя секреция** – эндокринные клетки слизистой оболочки желудка секретируют ряд биологически активных веществ: гистамин, гастрин, соматостатин и др.

**7. Участие в регуляции кроветворения:** париетальные клетки желез слизистой оболочки дна и тела желудка секретируют особый гликопротеин – внутренний фактор Касла<sup>1</sup>. Это вещество входит в состав желудочного сока и необходимо для всасывания витамина В<sub>12</sub> в тонкой кишке. Витамин В<sub>12</sub> (цианкобаламин, антианемический витамин, внешний фактор Касла) – кофермент синтеза нуклеиновых кислот, необходим для деления клеток, в т.ч. в процессе эритропоэза.

<sup>1</sup> W. B. Castle – американский физиолог и врач-гематолог, открывший это вещество.

■ Внутренний фактор является практически единственным жизненно важным компонентом желудочного сока. При удалении желудка (полном или фундального отдела) или при поражении его слизистой оболочки человек может погибнуть из-за развития В<sub>12</sub>-дефицитной анемии. Лечение – введение витамина В<sub>12</sub> в инъекциях.

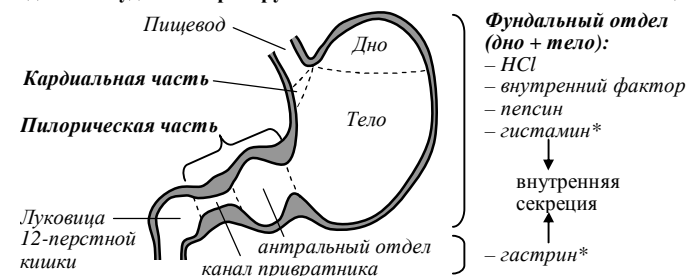
### 1.4. Желудочный сок, его состав и функции

**Желудочные железы** – расположены в слизистой оболочке, содержат клетки нескольких типов:

- 1) *главные* → пищеварительные ферменты (пепсин и другие);
- 2) *париетальные (обкладочные)* → HCl, внутренний фактор Касла;
- 3) *слизистые (добавочные)* → слизи;
- 4) *эндокринные* → гастрин, гистамин, соматостатин и др.

Эти клетки по-разному представлены в различных отделах желудка.

**Отделы желудка и секретируемые в них биологически активные вещества**



**Желудочный сок**

**Объем:** ≈ 2 л/сут. **Реакция** – сильно кислая за счет HCl (рН до 1,0)

**Состав:** 1) вода, электролиты, слизь; 2) пищеварительные ферменты (в основном, пепсин); 3) соляная кислота; 4) внутренний фактор Касла.

Основная часть желудочного сока секретируется *главными (фундальными) железами* желудка, расположенными в фундальном отделе (тело и дно).

**Функции ферментов желудочного сока<sup>1</sup>**

**Пепсин** – главный фермент желудочного сока; расщепляет белки до крупных полипептидов<sup>2</sup>. Выделяется в виде неактивного профермента – *пепсиногена* (защита от самопереваривания клеток желудочных желез); в полости желудка под действием HCl из пепсиногена образуется активный пепсин. Сам пепсин также активизирует пепсиноген, причем быстрее, чем это делает соляная кислота.

**Химозин (ренин)** – вызывает створаживание молочного белка казеина; *липаза* – расщепляет эмульгированные жиры (например, жиры молока). Эти два фермента имеют особое значение в переваривании грудного молока.

**Функции HCl:** ① денатурация и набухание белков пищи (их подготовка к воздействию ферментов); ② активация пепсиногена и создание оптимального рН для желудочных ферментов; ③ регуляция процессов пищеварения: • в желудке: ↑ моторики и секреции слизи, ↓ секреции HCl (отрицательная обратная связь); • в тонкой кишке: ↑ моторики и секреции гормонов, замедление эвакуации пищи из желудка; ④ бактерицидная функция.

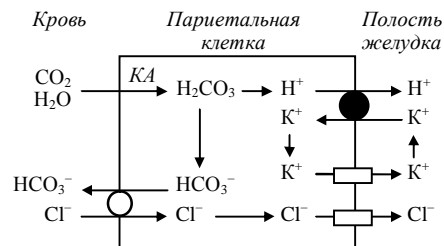
<sup>1</sup> В целом желудочные ферменты не играют большой роли в пищеварении.

<sup>2</sup> Строго говоря, под термином «пепсин» подразумевается смесь нескольких протеаз (пепсинов), активных при разных значениях рН.

**Функции слизи:** создает на поверхности эпителия слой, защищающий клетки от механических повреждений и от повреждающего действия HCl и ферментов; слизь защищает от ферментативного гидролиза также и внутренний фактор Касла.

**Механизм секреции HCl**

Ионы  $H^+$  (и эквивалентное количество ионов  $HCO_3^-$ ) образуются при диссоциации угольной кислоты ( $H_2CO_3$ ), которая синтезируется из  $CO_2$  и  $H_2O$  при участии карбоангидразы (КА). Под действием мембранного фермента  $H^+, K^+$ -АТФазы происходит активный транспорт ионов  $H^+$  в просвет желудка в обмен на ионы  $K^+$ , которые возвращаются обратно по калиевым каналам. Вслед за ионами  $H^+$  в просвет желудка по электрохимическому градиенту выводятся ионы  $Cl^-$ . Ионы  $HCO_3^-$  перемещаются по градиенту концентрации в кровь в обмен на ионы  $Cl^-$ . Таким образом, основным «двигателем» секреции HCl в желудке является протонная помпа –  $H^+, K^+$ -АТФаза. Вещества, ингибирующие этот фермент (например, омепразол) вызывают резкое снижению секреции HCl, что используется в медицине, в частности при лечении язвенной болезни.



**1.5. Гастроинтестинальные гормоны**

Эндокринные клетки слизистой оболочки желудка и тонкой кишки (особенно, 12-перстной) вырабатывают множество гормонов, регулирующих секрецию и моторику этих органов.

**Основные гормоны гастродуоденальной зоны**

Гормон, место образования	Действие на эффекторы			
	Желудок	Поджелудочная железа	Печень и желче-выводящие пути	Тонкая кишка
Гастрин – антральный отдел желудка (G-клетки)	↑ секреции (HCl, пепсин) ↑ моторики	↑ секреции ( $HCO_3^-$ , ферменты)	↑ моторики	↑ моторики
Секретин – тонкая кишка (S-клетки)	↓ секреции HCl ↓ моторики	↑ секреции ( $HCO_3^-$ )	↑ секреции ( $HCO_3^-$ )	↑ секреции
Холецистокинин <sup>1</sup> – тонкая кишка (I-клетки)	↓ секреции HCl ↓ моторики	↑ секреции (ферменты)	↑ моторики	↑ моторики

**Соматостатин** – вырабатывается в желудке и тонкой кишке (D-клетки) – тормозит желудочную, кишечную секрецию и моторику, а также секрецию желчи и панкреатического сока, действуя как прямо, так и через торможение секреции большинства гормонов ЖКТ (в т.ч. секретина и гастрина).

Особую роль эти гормоны играют в смене желудочного пищеварения на кишечное. При попадании пищи в *желудок* усиливается секреция в нем гастрин, который оказывает стимулирующее влияние, с одной стороны, на функции как самого желудка, а с другой – на функции тонкой кишки и главных пищеварительных желёз (печени и поджелудочной железы). Тем самым гастрин создаёт условия для осуществления следующей, кишечной, фазы пищеварения. Попадание порции химуса в *12-перстную кишку* стимулирует секрецию в ней секретина и холецистокинина, которые активируют деятельность тонкой кишки, а также секрецию желчи и панкреатического сока, но замедляют опорожнение желудка и секрецию в нем соляной кислоты.

<sup>1</sup> Одно время применялось название *холецистокинин-панкреозимин*.

■ Секретин, холецистокинин, соматостатин и другие гормоны тонкой кишки секретируются, преимущественно, в 12-перстной кишке, что подчеркивает её особую роль в регуляции пищеварения («гипофиз брюшной полости»). В частности, если в результате хирургического вмешательства у больного удалена 12-перстная кишка, а протоки поджелудочной железы и печени подшиты к тощей кишке, то нарушается регуляция: а) кишечной фазы секреции желудочного и панкреатического соков, желчеобразование и желчевыведение; б) моторики ЖКТ, в частности порционная эвакуация химуса из желудка. (Кроме того, будет нарушена активация панкреатических протеаз, для которой необходима энтерокиназа – фермент, синтезируемый в 12-перстной кишке).

**1.6. Регуляция секреции желудочного сока**

**Механизмы регуляции желудочной секреции**

**1. Нервная регуляция:**

- *усиливают* – парасимпатические влияния: блуждающие нервы (ацетилхолин, М-холинорецепторы);
- *тормозят* – симпатические влияния: нейроны Th<sub>6</sub> – Th<sub>10</sub>, чревные нервы (норадреналин, α<sub>1</sub>-адренорецепторы).

**2. Гуморальная регуляция:**

- *усиливают*: гистамин (HCl), гастрин (HCl и пепсин);
- *тормозят*: секретин, холецистокинин, соматостатин.

**Фазы желудочной секреции**

Фаза, доля в объёме секреции	Начало фазы	Механизмы регуляции секреции	Секреция желудочного сока
Мозговая ≈ 30–40%	до попадания пищи в желудок	нервные (пусковые)	усиление
Желудочная ≈ около 50%	при поступлении пищи в желудок	нейрогуморальные (пусковые, корректирующие)	усиление
Кишечная ≈ 10%	при поступлении пищи в тонкую кишку	нейрогуморальные (корректирующие)	торможение

**Мозговая фаза<sup>1</sup>.** Механизмы – нервные (сложнорефлекторные): • *условные рефлексы* – с зрительных, обонятельных, слуховых рецепторов (вид и запах пищи и т.п.); • *безусловные рефлексы* – с рецепторов ротовой полости и глотки. Эти рефлексы замыкаются в головном мозгу, приводя к активации парасимпатических волокон блуждающего нерва. Медиатор этих волокон – ацетилхолин – оказывает прямое стимулирующее действие на секрецию желудочного сока, а также вызывает высвобождение *гастрина* и *гистамина*. В результате усиливается секреция HCl и пепсина.

**Желудочная фаза.** Механизмы – нейрогуморальные: • *рефлексы* с механорецепторов рецепторов желудка, замыкаются в интрамуральных ганглиях и в ЦНС (через волокна блуждающего нерва); • *прямая и рефлекторная стимуляция* эндокринных клеток желудка → выделение *гастрина* и *гистамина*. **Корректирующая роль** в зависимости от состава содержимого желудка: желудочная секреция в наибольшей степени усиливается при приёме белковой пищи.

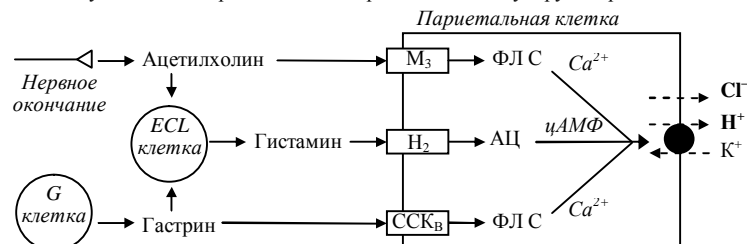
**Кишечная фаза.** Механизмы – нейрогуморальные: • *рефлексы* от рецепторов тонкой кишки, замыкаются в интрамуральных ганглиях и в ЦНС; • *прямая и рефлекторная стимуляция* эндокринных клеток тонкой кишки → выделение *секретина* и *холецистокинина*, которые тормозят секрецию HCl в желудке. **Корректирующая роль** в зависимости от свойств дуоденального химуса: желудочную секрецию в наибольшей степени угнетается при попадании в 12-перстную кишку кислоты, жиров и гипертонических растворов.

<sup>1</sup> Впервые наличие этой фазы установил И.П. Павлов в опытах с «мнимым кормлением»: пища не попадает в желудок, но секреция желудочного сока увеличивается.

### Регуляция секреции соляной кислоты

**Гистамин** – главный стимулятор секреции HCl. Он вырабатывается ECL-клетками<sup>1</sup> слизистой оболочки фундального отдела желудка и действует местно (паракринно) на расположенные здесь же париетальные клетки через мембранные H<sub>2</sub>-рецепторы, активирующие аденилатциклазу. Блокаторы этих рецепторов (циметидин и др.) используются в медицине для снижения секреции HCl (например, при язвенной болезни).

**Ацетилхолин** – выделяется парасимпатическими волокнами, стимулирует секрецию HCl через M<sub>3</sub>-холинорецепторы париетальных клеток (активируют фосфолипазу C). **Гастрин** – секретируется G-клетками антрального отдела желудка, стимулирует секрецию HCl через CCK<sub>B</sub>-рецепторы<sup>2</sup> париетальных клеток (активируют фосфолипазу C). Гастрин и ацетилхолин усиливают секрецию HCl как прямо, так и стимулируя секрецию гистамина.



В саморегуляции секреции HCl велико значение *отрицательной обратной связи*: повышение кислотности желудочного содержимого стимулирует высвобождение *соматостатина*, который тормозит секрецию HCl прямо (действуя на париетальные клетки) и косвенно – тормозя секрецию гистамина и гастрина в соответствующих клетках.

### 1.7. Моторная функция желудка и её регуляция

Моторика желудка осуществляется за счет сокращений гладких мышц средней оболочки его стенки. *Тело и дно желудка* обеспечивают депонирование, перетирание и перемешивание пищи; *привратник* осуществляет порционную эвакуацию химуса в 12-перстную кишку.

**Виды моторики желудка:** ① *тонические сокращения* – длительное напряжение мышц разных отделов желудка; ② *перистальтика* – волнообразные сокращения дна и тела желудка, служат для перемешивания и продвижения содержимого желудка; распространяются от кардиальной части к пилорической (в кардиальной части расположены гладкомышечные клетки-водители ритма, обладающие автоматией); ③ *антральная систола* – мощное сокращение антрального отдела желудка, распространяющееся в сторону тонкой кишки; играет главную роль в эвакуации пищи в 12-перстную кишку.

**Режимы моторики желудка:** ① *«голодная моторика»* – до приема пищи – включает в себя тонические сокращения (в пустом желудке стенки соприкасаются) и редкие перистальтические волны; ② *рецептивная релаксация* – расслабление желудка, возникающее при раздражении рецепторов ротовой полости и, особенно, после попадания первых порций пищи в желудок; создает резервуар для дальнейшего приема пищи; ③ *«сытая моторика»* – после приема пищи – усиление тонуса и перистальтики, периодическое возникновение антральной систолы.

<sup>1</sup> От англ. *EnteroChromaffin-Like* – энтерохромаффиноподобный; эти нейроэндокринные клетки родственны хромаффинным клеткам мозгового вещества надпочечников.

<sup>2</sup> Рецептор для гастрина относится к типу В-рецепторов для холецистокинина.

### Регуляция моторики желудка

**1. Миогенная** – за счет собственных свойств гладкомышечных клеток стенки желудка: а) *автоматия* – обеспечивает тонус мышц и работу водителей ритма перистальтики; б) *сокращение гладких мышц в ответ на их растяжение* – имеет значение для поддержания тонуса, для продвижения химуса (при его накоплении в каком-либо отделе желудка, мышцы этого отдела сокращаются и химус продвигается дальше).

**2. Нервная** – осуществляется рефлекторно при раздражении рецепторов полости рта, пищевода, желудка, тонкой кишки:

– *парасимпатические влияния* – усиливают моторику (блуждающие нервы, медиатор – ацетилхолин, М-холинорецепторы);

– *симпатические влияния* – тормозят моторику (чревные нервы, медиатор – норадреналин, α<sub>1</sub>-адренорецепторы);

– *местная регуляция* – координация моторики интраорганными рефлексими (интрамуральные ганглии и сплетения).

**3. Гуморальная:** усиливает: гастрин; тормозят: секретин, холецистокинин.

### Механизмы эвакуации химуса из желудка

**Цель:** постепенная (порционная) передача химуса из желудка в 12-перстную кишку по мере готовности к дальнейшему перевариванию. Роль «клапана» в этом процессе играет пилорический отдел желудка, в частности *сфинктер привратника* (утолщение циркулярного мышечного слоя вокруг канала привратника).

**Последовательность событий (цикл):** накопление химуса в антральном отделе → открытие сфинктера привратника и антральная систола → переход порции химуса в 12-перстную кишку → закрытие сфинктера привратника и расслабление антрального отдела. По мере удаления химуса из 12-перстной кишки в тощую и накопления очередной его порции в антральном отделе за счет перистальтики желудка, цикл повторяется.

**Регуляция:** эвакуация химуса в 12-перстную кишку замедляется при повышении в нем кислотности, осмотического давления и содержания жиров. Перечисленные факторы стимулируют высвобождение в 12-перстной кишке секретина и холецистокинина. Эти гормоны тормозят моторику желудка, усиливают сокращения пилорического сфинктера и стимулируют выделение поджелудочного сока и желчи, что приводит к нейтрализации соляной кислоты.

Меньше всего задерживается в желудке пища, богатая углеводами, дольше – богатая белками, дольше всего – жирная пища. Жидкости в желудке практически не задерживаются.

■ При удалении пилорического отдела желудка резко ускоряется эвакуация содержимого из желудка и продвижение химуса по тонкой кишке. При этом: 1) нарушается переваривание, преимущественно, жиров и белков, которые требуют длительной подготовки; 2) резко ускоряется всасывание углеводов из тонкой кишки в кровь, они стимулируют выброс инсулина с развитием гипогликемии; 3) повышается осмотическое давление в тонкой кишке, в нее диффундирует большое количество жидкости, снижая объем циркулирующей крови; 4) раздражение рецепторов тонкой кишки приводит к резкому повышению секреции биологически активных веществ (ацетилхолин, гистамин, гастроинтестинальные гормоны), которые могут оказывать нежелательное действие. В результате развивается *демпинг-синдром*<sup>1</sup>, при котором наблюдаются симптомы как со стороны ЖКТ (тошнота, рвота, понос, метеоризм и др.), так и общие (слабость, тахикардия, обморок и др.).

Кроме того, G-клетки слизистой оболочки пилорического (антрального) отдела желудка секретируют гормон гастрин, стимулирующий секрецию HCl в желудке. При удалении привратника секреция HCl снижается, что также нарушает пищеварение.

<sup>1</sup> От англ. *dumping* – сбрасывание.

## 1.8. Панкреатический сок: состав и функции

**Поджелудочная железа:** 1) экзокринная часть ( $\approx 99\%$  массы железы) – секретирует пищеварительного сока; 2) эндокринная часть (островки Лангерганса) – секретирует гормонов.

### Панкреатический сок

*Объем*  $\approx 1,5$  л/сут. *Реакция* – слабощелочная (за счет  $\text{HCO}_3^-$ ).

*Состав:* 1) вода, электролиты, слизь; 2) пищеварительные ферменты.

### Функции панкреатического сока:

① нейтрализация  $\text{HCl}$ , поступающей из желудка (за счет  $\text{HCO}_3^-$ ) → создание оптимального pH для работы ферментов в тонкой кишке; ② главная роль в переваривании всех компонентов пищи – осуществляется ферментами панкреатического сока:

- *$\alpha$ -амилаза:* крахмал, гликоген → олиго- и дисахариды (мальтоза);
- *липазы:* жиры → моноглицериды и жирные кислоты;
- *пептидазы:* полипептиды → аминокислоты:
  - *трипсин* и *химотрипсин* – расщепляют полипептид на менее крупные;
  - *экзопептидазы* – отщепляют от полипептида концевые аминокислоты<sup>1</sup>.

Панкреатические пептидазы обладают очень большой протеолитической активностью. Для защиты поджелудочной железы от самопереваривания они секретируются в виде неактивных проферментов, которые активируются только в просвете 12-перстной кишки. Профермент трипсиноген под действием фермента 12-перстной кишки *энтерокиназы* превращается в активный фермент трипсин. Трипсин активирует дополнительные порции трипсиногена (самоактивация), а также химотрипсиноген и другие проферменты.

## 1.9. Регуляция секреции панкреатического сока

### Механизмы регуляции секреции панкреатического сока

#### 1. Нервная регуляция:

- *усиливают* – парасимпатические влияния (M-холинорецепторы);
- *тормозят* – симпатические влияния ( $\alpha_1$ -адренорецепторы).

#### 2. Гуморальная регуляция (в основном, гормонами ЖКТ):

- *усиливают:* секретин ( $\uparrow$  секреции  $\text{HCO}_3^-$ ), холецистокинин ( $\uparrow$  секреции ферментов), гастрин;
- *тормозят:* соматостатин, адреналин, глюкагон.

### Фазы панкреатической секреции

Во внешней секреции поджелудочной железы выделяют те же фазы, что и в желудочной секреции:

1) *мозговая фаза* – обусловлена условно-рефлекторными раздражениями (мысли о еде, вид, запах пищи) и безусловно-рефлекторными раздражениями (воздействие на рецепторы слизистой рта, жевание и глотание);

2) *желудочная фаза* – рефлекторные влияния с механо- и хеморецепторов желудка; *гуморальное влияние* гастрин;

3) *кишечная фаза:* действие химуса на слизистую 12-перстной кишки → выделение секретина и холецистокинина.

Все фазы – стимулирующие (в отличие от фаз желудочной секреции). При этом гормональные – корригирующие – влияния более выражены, чем нервные, особенно в кишечную фазу. Нервы оказывают пусковые влияния, в основном, в мозговую фазу.

<sup>1</sup> В отличие от *эндопептидаз* (пепсин, трипсин и др.) – ферментов, разрушающих связи между аминокислотными остатками *внутри* пептида.

Прием пищи вызывает увеличение выделения всех ферментов в составе панкреатического сока, но в разной степени в зависимости от состава пищи: при углеводной наиболее усиливается секреция амилазы, белковой – трипсина и химотрипсина, а жирной – липаз.

## 1.10. Желчь, её состав, роль в пищеварении

### Желчь

*Объем*  $\approx 0,5-1,0$  л/сут. *Реакция* – слабощелочная (за счет  $\text{HCO}_3^-$ ).

*Состав:* 1) вода, электролиты, слизь; 2) желчные кислоты; 3) билирубин; 4) холестерол; 5) фосфолипиды.

В печени образуется *печеночная желчь* светлого золотисто-желтого цвета. Вне пищеварения она поступает в желчный пузырь, где накапливается, сгущается и обогащается слизью – превращается в *пузырную желчь* темного желто-зеленого цвета.

### Функции желчи (в основном обусловлены желчными кислотами):

1) эмульгирование жиров, что способствует:
 

- их расщеплению липазами (липазы активны только на границе «жир-вода»);
- всасыванию продуктов гидролиза (жирных кислот);

2) нейтрализация  $\text{HCl}$ , поступающей из желудка (за счет  $\text{HCO}_3^-$ ) → создание оптимального pH для работы ферментов в тонкой кишке;

3) активация ферментов панкреатического сока (особенно, липаз);

4) стимуляция секреции секретина и холецистокинина в 12-перстной кишке → усиление секреции желчи и панкреатического сока, моторики тонкой кишки;

5) бактерицидное действие;

6) экскреторная функция – удаление из организма билирубина и избытка холестерола.

■ В соответствии с перечисленными функциями желчи, у больных со сниженным ее поступлением в 12-перстную кишку (например, при уменьшении просвета общего желчного протока) возможны следующие нарушения пищеварения: 1) затруднение переваривания и всасывания жиров; 2) угнетение моторики тонкой кишки; 3) угнетение секреции панкреатического сока. Возрастает также риск инфекции ЖКТ.

### Регуляция желчевыделения

#### 1. Нервная регуляция:

- *усиливают* – парасимпатические влияния (M-холинорецепторы);
- *тормозят* – симпатические влияния ( $\alpha_1$ -адренорецепторы).

#### 2. Гуморальная регуляция:

- *усиливают:* холецистокинин и гастрин ( $\uparrow$  моторики желчевыводящих путей); секретин ( $\uparrow$  секреции  $\text{HCO}_3^-$ ).

Желчевыделение особенно стимулируется при попадании в 12-перстную кишку жиров, молока, яичного желтка. Кроме того, сама желчь имеет выраженное желчегонное действие.

### 1.11. Пищеварение в тонкой кишке

Тонкая кишка – наиболее длинный участок пищеварительной трубки – является основным «плацдармом» пищеварения. В 12-перстную кишку (начальный отдел тонкой кишки) из желудка порционно поступает химус, а из открывающихся в нее протоков поджелудочной железы и печени – их секреты. Под влиянием этих пищеварительных соков, а также сока самой тонкой кишки происходит полное расщепление крупных органических молекул пищи до структурных блоков с последующим всасыванием продуктов гидролиза.

#### Основные процессы пищеварения в тонкой кишке

**1. Рецепция** – обеспечивается многочисленными хемо- и механорецепторами, играет важную роль в регуляции моторики и секреции в тонкой кишке.

**2. Моторика** – обеспечивает перемешивание и продвижение химуса.

**3. Секреция** – сок тонкой кишки участвует в завершающих этапах гидролиза питательных веществ.

**4. Внутренняя секреция:** в тонкой кишке синтезируются секретин, холецистокинин, соматостатин и многие другие гормоны, регулирующие пищеварение.

**5. Всасывание** – очень интенсивно за счет следующих факторов: ① наличие продуктов гидролиза питательных веществ, готовых к всасыванию (глюкоза, аминокислоты, жирные кислоты); ② резкое увеличение поверхности всасывания за счет циркулярных складок и ворсинок слизистой оболочки, микроворсинок энтероцитов; ③ густая сеть фенестрированных капилляров в составе ворсинок; ④ движения ворсинок.

**Механизмы всасывания** воды, электролитов, глюкозы и аминокислот клетками кишечника подобны таковым в почке. Особым образом осуществляется всасывание гидрофобных *продуктов гидролиза жиров*. Моноглицериды, жирные кислоты и холестерол эмульгируются солями желчных кислот и фосфолипидами желчи с образованием *мицелл*, из которых переходят в кишечные эпителиоциты. В эпителиоцитах происходит *ресинтез* триглицеридов, которые вместе с холестеролом и в соединении с белком (в составе *хиломикронов*) поступают в *лимфу* (а не в кровь).

**6. Экскреция** – в норме только вода и электролиты. Могут выделяться также мочевины и мочевая кислота (при нарушении функции почек).

#### Сок тонкой кишки

Объем  $\approx 2$  л/сут. Реакция – слабощелочная.

Состав: 1) вода, электролиты, слизь; 2) пищеварительные ферменты.

**Функции сока тонкой кишки:** ① нейтрализация кислого содержимого желудка и создание оптимального pH (слабощелочного) для ферментов панкреатического и кишечного соков; ② разжижение химуса; ③ окончательный гидролиз питательных веществ, который осуществляют в ходе пристеночного пищеварения **ферменты кишечного сока:**

- **дисахаридазы:** дисахариды  $\rightarrow$  моносахариды (*мальтаза:* мальтоза  $\rightarrow$  глюкоза; *лактаза:* лактоза  $\rightarrow$  глюкоза + галактоза; *сахараза:* сахароза  $\rightarrow$  глюкоза + фруктоза);

- **экзопептидазы и дипептидазы:** полипептиды и дипептиды  $\rightarrow$  аминокислоты.

Особое значение имеет протеолитический фермент тонкой кишки *энтерокиназа*, который расщепляет панкреатических профермент трипсиноген с образованием активного фермента трипсина.

**Регуляция секреции сока тонкой кишки:** а) *нервная* – преимущественно местная – рефлекторные дуги замыкаются в интрамуральных вегетативных ганглиях; б) *гуморальная:* секретин усиливает, соматостатин – тормозит. Секреция усиливается при действии химуса, желчи, панкреатического сока.

### 1.12. Полостное и пристеночное пищеварение

Особенностью ферментативного гидролиза питательных веществ в тонкой кишке является то, что он проходит в два последовательных этапа: полостное и пристеночное пищеварение.

**Полостное пищеварение** происходит в просвете кишки внутри химуса. Оно осуществляется за счет ферментов поджелудочной железы, секретирующихся в 12-перстную кишку, а также за счет собственных ферментов кишечного сока. На этом этапе происходит гидролиз питательных веществ до частиц, соизмеримых с размерами промежутков между микроворсинками кишечных эпителиоцитов. Таким образом, полостное пищеварение является *подготовительным этапом* ферментативного гидролиза по отношению к пристеночному.

#### Пристеночное (мембранное) пищеварение

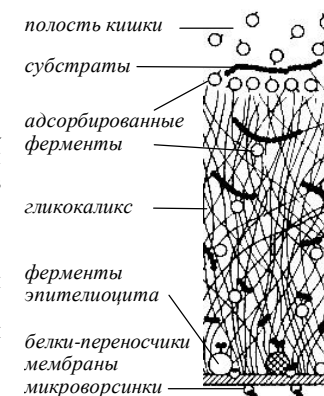
происходит между микроворсинками щеточной каемки кишечного эпителия. Оно осуществляется ферменты пищеварительных соков (панкреатического, кишечного), адсорбированными на гликокаликсе эпителиоцитов, а также собственными ферментами мембраны эпителиоцитов. При этом мелкие субстраты (в частности, дисахариды и дипептиды), образовавшиеся в ходе полостного пищеварения, подвергаются окончательному гидролизу. Таким образом, полостное пищеварение является *заключительным этапом* ферментативного гидролиза, тесно связанным с начальными этапами всасывания веществ в щеточной каемке эпителиоцитов.

#### Особенности пристеночного пищеварения.

1. **Высокая ферментативная активность:** • ферменты фиксированы и не уносятся с движением химуса; • ферменты расположены по фракциям (позтапность обработки субстрата – принцип конвейера); • активный центр ферментов ориентирован в просвет между ворсинками.

2. **Высокая скорость всасывания:** • большая поверхность (каждая клетка имеет до 100 микроворсинок, что увеличивает ее поверхность в 20 раз, доводя общую площадь поверхности всасывания тонкой кишки до 200–300 м<sup>2</sup>); • высокая концентрация конечных продуктов гидролиза вблизи поверхности всасывания; • интенсивный отток по кровеносным и лимфатическим сосудам (за счет сокращения ворсинок).

3. **Стерильность** – микроорганизмы не проходят по размерам в пространства между микроворсинками и не мешают гидролизу.



### 1.13. Пищеварение в толстой кишке

В толстую кишку химус поступает через 3 – 4 часа после приема пищи и задерживается здесь на 12 – 72 часа. В толстой кишке проходят заключительные этапы пищеварения, которые завершаются формированием каловых масс и их выведением (дефекация).

Важной особенностью пищеварения в толстой кишке является наличие в ней большого числа симбионтных *микроорганизмов* (составляют около 1/3 массы кала; в основном, анаэробы – бифидумбактерии и бактероиды).

#### Основные процессы пищеварения в толстой кишке

**1. Рецепция** имеет первостепенное значение для регуляции моторики.

**2. Моторика** обеспечивает накопление кишечного содержимого, формирование каловых масс и дефекацию.

**3. Секреция** – выделяется малое количество сока ( $\approx 0,5$  л/сут), содержащего много слизи и мало ферментов.

**4. Всасывание** – в основном, вода и электролиты (формируются каловые массы). **Особенность:** всасывание в прямой кишке происходит в геморроидальные вены, откуда кровь попадает непосредственно в нижнюю полую вену, минуя воротную вену печени и печеночный барьер (на этом основано введение лекарственных средств в свечах и клизмах).

**5. Экскреция** – в норме только вода и электролиты. При патологических состояниях могут выделяться также мочевины и мочевая кислота (при нарушении функции почек).

#### Роль микрофлоры толстой кишки

1. Конечное разложение непереваренных остатков пищи за счет бактериальных ферментов, отсутствующих у человека: • гидролиз примерно 40% *целлюлозы* (растительной клетчатки); • *сбраживания углеводов и жиров*; • *гниение белков* с образованием ряда токсических продуктов (фенол, индол, скатол, сероводород, меркаптаны), поступающих через портальную систему в печень, где они обезвреживаются.

2. Синтез витаминов К, В<sub>12</sub> и В<sub>9</sub> (фолиевой кислоты), что не имеет, однако, большого значения для организма человека в целом.

3. Имунная функция: • антагонизм патогенным микробам; • поддержание активности иммунной системы.

4. Участие в метаболизме билирубина (его окисление).

5. Образование кишечных газов: в основном, углекислого газа, водорода, и метана, а также аммиака и сероводорода<sup>1</sup>.

**Регуляция пищеварения в толстой кишке** осуществляется преимущественно местными механизмами:

- *миогенным* – сокращение гладкой мышцы кишки при ее растяжении;
- *нейрогенным* (энтеральная нервная система) – замыкание рефлекторных дуг в вегетативных ганглиях.





<sup>1</sup> Запах кишечного газа (и кала) частично обусловлен сероводородом и аммиаком, но основную роль играют другие газы, содержащиеся в следовых количествах, – серосодержащие соединения метанэтанол и диметилдисульфид.

### 1.14. Кишечная моторика: виды, механизмы регуляции

Движение кишки происходит в результате координированных сокращений продольного (наружного) и циркулярного (внутреннего) слоев гладких мышц.

**Моторика кишки обеспечивает:** ① продвижение содержимого по кишке; ② перемешивание кишечного содержимого с пищеварительными соками и смесью его слоя у слизистой оболочки; ③ повышение внутрикишечного давления, способствующего фильтрации веществ из полости кишки в кровь и лимфу.

#### Основные виды кишечной моторики

	<i>Тонические сокращения</i> – длительное сокращение участка кишки → повышение давления, разграничение участков кишки (сфинктеры).
	<i>Перистальтика</i> – волна сокращения, продвигающаяся вдоль кишки в дистальном направлении → продвижение и перемешивание содержимого.
	<i>Ритмическая сегментация</i> – поочередное сокращение разных участков кишки с разделением ее на сегменты → перемешивание содержимого.
	<i>Маятникообразные движения</i> – перемещение содержимого «вперед-назад» → увеличение зоны контакта порции содержимого с разными участками кишки.

#### Регуляция кишечной моторики

**1. Миогенная** – за счет собственных свойств гладкомышечных клеток стенки: а) *автоматия* – обеспечивает тонус мышц и работу водителей ритма перистальтики; б) *сокращение гладких мышц в ответ на их растяжение* – имеет значение для поддержания тонуса, для продвижения кишечного содержимого.

**2. Нервная** – осуществляется рефлекторно при раздражении рецепторов полости рта, пищевода, желудка, тонкой и толстой кишок:

- *парасимпатические влияния* (М-холинорецепторы) – усиливают моторику;
- *симпатические влияния* ( $\alpha_1$ -адренорецепторы) – тормозят моторику;
- *местная регуляция* – координация моторики интраорганными рефлексам.

#### 3. Гуморальная:

- *усиливают:* гастрин, холецистокинин;
- *тормозят:* адреналин, соматостатин.

На циркулярных гладких мышцах кишки есть опиатные  $\mu$ -рецепторы, стимуляция которых усиливает сегментирующие сокращения кишки, что приводит к задержке продвижения ее содержимого. С этим связаны способность опиатов (например, кодеина, входящего в состав некоторых лекарств) вызывать запоры, а также действие такого противодиарейного средства, как синтетический опиат лоперамид (Имодиум).

#### Дефекация

Анальное отверстие имеет два сфинктера: *внутренний (непроизвольный)*, образованный гладкими мышцами, и *наружный (произвольный)*, образованный соматическими мышцами. Вне дефекации эти сфинктеры находятся в состоянии тонического сокращения. При повышении давления в прямой кишке происходит рефлекторное расслабление сфинктеров и усиление моторики прямой кишки, в результате чего из неё выводится кал. Существенную роль при этом играет сокращение мышц передней брюшной стенки (натуживание).

Рефлекторная регуляция процессов наполнения и опорожнения толстой кишки осуществляется пояснично-крестцовым *центром дефекации*. Его *парасимпатические нейроны* тормозят тонус непроизвольного сфинктера и усиливают моторику прямой кишки, то есть стимулируют акт дефекации; *симпатические нейроны* оказывают противоположное действие. Произвольное управление актом дефекации осуществляется за счет контроля активности спинального центра со стороны коры полушарий большого мозга.

## 1.15. Методы исследования функций ЖКТ у человека

**Копрологическое исследование** (анализ кала) является наиболее простым методом, позволяющим ориентировочно установить характер и локализацию нарушений пищеварения на разных этапах «пищеварительного конвейера». Для этого исследуют содержание в кале компонентов пищи: крахмала, жира и жирных кислот, мышечных волокон. В норме эти компоненты в копрограмме практически отсутствуют так как почти полностью перевариваются и всасываются.

▣ Возможные причины присутствия в копрограмме:

- *непереваренных мышечных волокон*: снижение секреции панкреатического сока (дефицит пептидазы), нарушение пищеварения в желудке (недостаточное действие пепсина);
- *жиров*: снижение секреции панкреатического сока (дефицит липаз), снижение секреции желчи, нарушение всасывания липидов в тонкой кишке;
- *крахмала*: снижение секреции панкреатического сока или сока тонкой кишки (дефицит амилазы).

**Желудочное зондирование** – метод исследования *секреторной* функции желудка. Через эластичный зонд, введенный в желудок через рот, собирают желудочный сок порциями. В каждой порции определяют: объем секрета, содержание НСІ, пепсина и некоторые другие показатели.

Данные желудочного зондирования позволяют выявить и количественно оценить снижение или повышение секреторной функции желудка при различных заболеваниях (например, при язвенной болезни, гастритах).

**Дуоденальное зондирование** – метод, позволяющий исследовать *моторную* функцию желчевыводящих путей и *секреторную* функцию печени. С помощью зонда, введенного в 12-ти перстную кишку отдельными порциями извлекают дуоденальное содержимое. В процессе исследования применяют холецистокинетик – вещество, стимулирующее опорожнение желчного пузыря: внутривенное введение холецистокинина или введение через зонд гипертонических растворов (сульфата магния или сорбита).

Изучение динамики выделения желчи в процессе исследования позволяет оценить тонус и подвижность различных отделов желчевыводящих путей, а также секреторную функцию печени.

**Рентгенологическое исследование** с применением рентгеноконтрастных веществ (например, солей бария) позволяет исследовать *моторную* функцию органов желудочно-кишечного тракта. Продвижение рентгеноконтрастного вещества изучают либо непосредственно по изображению на экране аппарата (*рентгеноскопия*), либо по серии рентгеновских снимков, сделанных через короткие промежутки времени (*рентгенография*), или производят видеозапись (*рентгенокимография*).

**рН-метрия** используется для измерения кислотности содержимого разных отделов ЖКТ. В частности *суточное мониторирование внутрищеводного рН* применяется в диагностике гастроэзофагеального рефлюкса.

**Электрогастрография** – регистрация электрической активности гладких мышц желудка позволяет судить о его *моторике*.

**Ультразвуковой метод** применяется для исследования *моторики* пищеварительного тракта. Этот метод позволяет оценить характер эвакуации из желудка, сократительную способность желчного пузыря.