

Обмен липидов



Липиды

Липиды – это разнообразная по строению группа органических молекул, имеющих общие свойства – **гидрофобность или амфифильность**.

В организме человека липиды представлены большой группой соединений: **гидрофобные** (триацилглицеролы -ТАГ, эфиры холестерина –ЭХ), **амфифильные** (есть гидрофобная часть и гидрофильная (полярная «головка») - глицерофосфолипиды, сфинголипиды.



ЛИПИДЫ

Органические вещества биологической природы, нерастворимые в воде, но растворимые в неполярных растворителях (бензол, эфир, хлороформ)

ОМЫЛЯЕМЫЕ ЛИПИДЫ

При гидролизе в щелочной среде образуют спирт и соли жирных кислот

ПРОСТЫЕ ЛИПИДЫ

При гидролизе образуют спирты и жирные кислоты

ВОСКА

ТРИАЦИЛГЛИЦЕРИНЫ
(нейтральные жиры)

СЛОЖНЫЕ ЛИПИДЫ

При гидролизе образуют спирты, жирные кислоты и другие вещества (углеводы, азотсодержащие вещества, фосфорную кислоту)

ФОСФОЛИПИДЫ

ГЛИКОЛИПИДЫ

Цереброзиды

Сульфолипиды

Ганглиозиды

ГЛИЦЕРОФОСФОЛИПИДЫ

Фосфатидилхолины
(лецитины)

Фосфатидилэтанолламины
(кефалины)

Фосфатидилсерины

Фосфатидилинозитолы

Плазмалогены

Кардиолипиды

СФИНГОФОСФОЛИПИДЫ

Сфингомиелины

НЕОМЫЛЯЕМЫЕ ЛИПИДЫ

Не гидролизуются в щелочной или кислой среде

Производные насыщенного углеводорода – циклопентанпергидрофантрена.
Стероиды делят на группы в зависимости от количества углеродных атомов боковой цепи у C₁₇

СТЕРИНЫ, СТЕРИДЫ

Эфиры стерина и жирных кислот (восемь углеродных атомов у C₁₇) – холестерин, эфиры холестерина

ЖЕЛЧНЫЕ КИСЛОТЫ

Холевая, дезоксихолевая и хенодезоксихолевая кислоты (пять углеродных атомов у C₁₇)

СТЕРОИДНЫЕ ГОРМОНЫ

Кортикостероиды и прогестероны (два углеродных атома у C₁₇)

СТЕРОИДНЫЕ ВИТАМИНЫ

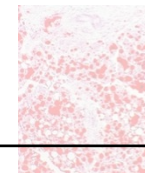
Витамины D₂ и D₃, провитамины D (эргостерин, 7-дегидрохолестерин), восемь углеродных атомов у

Функции липидов

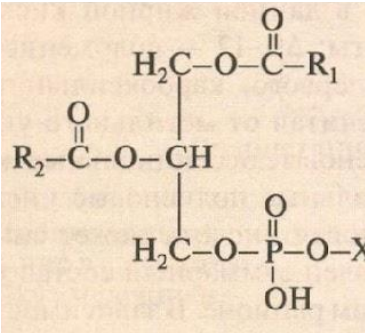

- от 30 до 50% расходуемой энергии ежедневно образуются за счет липидов;
- в пищевых липидах содержатся или растворяются при всасывании эссенциальные соединения (жирорастворимые витамины – А, D, Е, К, полиненасыщенные жирные кислоты – линоленовая, арахидоновая и др.);
- из липидов синтезируются биологически активные соединения – гормоны стероидной природы, простагландины, витамин D;
- теплоизоляционная и механическая защита организма;
- основу биологических мембран составляют липиды, на пример глицерофосфолипиды, сфинголипиды, холестерол;
- в основе многих видов патологии лежат нарушения липидного обмена;
- определение продуктов липидного обмена для диагностических целей используются в работе биохимических лабораторий;
- некоторые производные липидов являются лекарственными веществами.

Строение и функции основных классов липидов человека

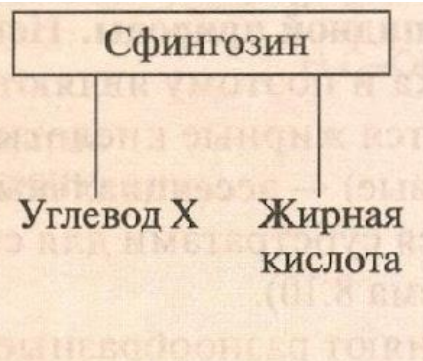
| Класс липидов | Схема строения | Функции | Преимущественная локализация |
|------------------------|---|--|---|
| Жирные кислоты | $R-COOH$ | Структурные компоненты большинства классов липидов, источники энергии | Все клетки (в составе других классов липидов) |
| Триацилглицеролы (ТАГ) | $ \begin{array}{c} H_2C-O-C(=O)-R_1 \\ \\ R_2-C(=O)-O-CH \\ \\ H_2C-O-C(=O)-R_3 \end{array} $ | Запасание энергетического, материала, термоизоляция, механическая защитная функции | Адипоциты |

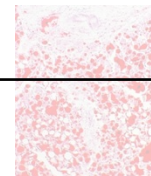


Строение и функции основных классов липидов человека

| Класс липидов | Схема строения | Функции | Преимущественная локализация |
|--|---|--|--|
| <p>Глицерофосфолипиды: X-холин; Этаноламин; Серин; Инозитол-бифосфат</p> |  | <p>Структурные компоненты мембран; фосфатидилхолин, кроме того, структурный элемент липопротеинов, компонент сурфактанта, предотвращающего слипание альвеол (в этом случае R1 и R2 – пальмитиновые кислоты)</p> | <p>Мембраны клеток, монослой на поверхности липопротеинов, альвеолы легких</p> |
| <p>Сфингофосфолипиды-сфингомиелины</p> |  | <p>Основные структурные компоненты мембран клеток нервной ткани</p> | <p>Миелиновые оболочки нейронов, серое вещество мозга</p> |

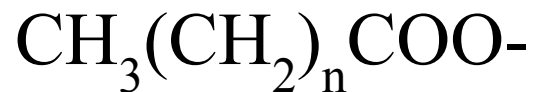
Строение и функции основных классов липидов человека

| Класс липидов | Схема строения | Функции | Преимущественная локализация |
|---|---|---|--|
| <p>Гликолипиды: Цереброзиды, если X- моносахарид; ганглиозиды, если X-углеводы сложного состава</p> |  | <p>Компоненты мембран клеток нервной ткани, антигенные структуры на поверхности разных типов клеток; рецепторы, структуры, обеспечивающие взаимодействие клеток</p> | <p>Внешний слой клеточных мембран</p> |
| <p>Стероиды</p> | <p>Холестерол и его производные</p> | <p>Компонент мембран, предшественник в синтезе желчных кислот и стероидных гормонов</p> | <p>Мембраны клеток, липопротеины крови</p> |



Жирные кислоты

| <p align="center">Насыщенные не содержат двойных связей</p> | <p align="center">Ненасыщенные (в положении 2 ТАГ) содержат двойные связи</p> |
|---|---|
| <p>$\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - (\text{CH}_2)_k - \text{COOH}$ Общая формула $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$</p> | <p>$\text{H}_3\text{C} - (\text{CH}_2)_l - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_d - \text{COOH}$ Общая формула $\text{C}_n\text{H}_{(2n+1)-2m}\text{COOH}$, где</p> |
| <p align="center">k, l, d – количество (- CH_2 -) – звеньев; n – количество углеродных атомов в радикале; m – количество двойных связей в радикале</p> | |
| <p>Миристиновая C_{14} $\text{C}_{13}\text{H}_{27}\text{COOH}$ Пальмитиновая C_{16} $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$ Стеариновая C_{18} $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$</p> | <p>Моноеновые Пальмитоолеиновая $\text{C}_{16:1}\text{C}_{15}\text{H}_{29}\text{COOH}$ Олеиновая $\text{C}_{18:1}\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ Полиеновые Линолевая $\text{C}_{18:2}\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$ Линоленовая $\text{C}_{18:3}\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$ Арахидоновая $\text{C}_{20:4}\text{C}_{19}\text{H}_{31}\text{COOH}$</p> |



Жирная кислота

ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ, ПРИСУТСТВУЮЩИЕ В ПЛАЗМЕ

| | Название | Длина цепи | Источник |
|---|--------------------|------------|---|
| Насыщенные | миристиновая | C 14:0 | кокосовое масло животный жир животный жир |
| | пальмитиновая | C 16:0 | |
| | стеариновая | C 18:0 | |
| Мононенасыщенные (моноеновые) | пальмитолеиновая | C 16:1 ω7 | животный жир растительное масло |
| | олеиновая | C 18:1 ω9 | |
| Полиненасыщенные (полиеновые) эссенциальные | линолевая | C 18:2 ω6 | растительное масло растительное масло растительное масло рыбий жир |
| | линоленовая | C 18:3 ω6 | |
| | арахидоновая | C 20:4 ω8 | |
| | эйкозапентатеновая | C 20:5 ω3 | |

В сокращенной формуле указано количество атомов углерода и число двойных связей.

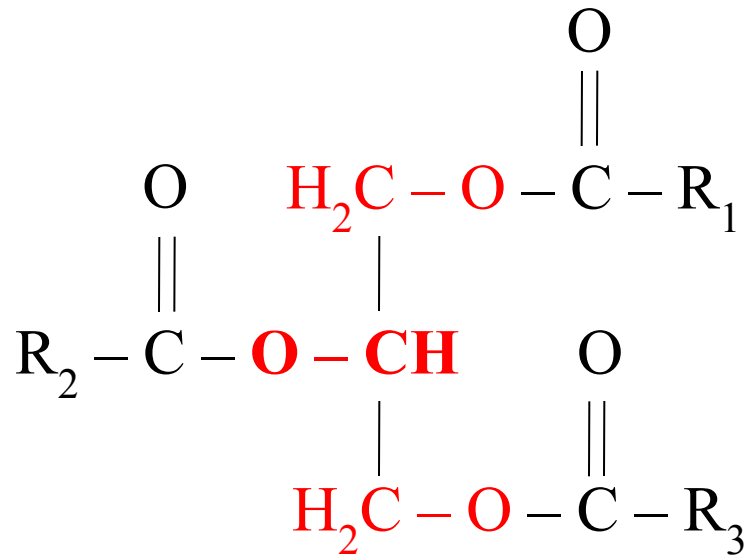
n – количество углеродных атомов в радикале;

Ближайшая к метильному концу двойная связь обозначена символом ω



Строение триацилглицеролов (ТАГ)

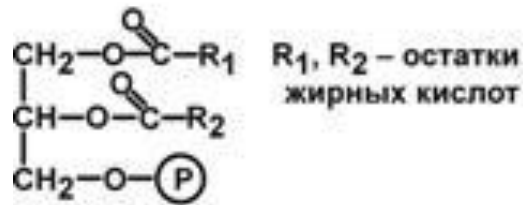
ТАГ (жиры) являются сложными эфирами жирных кислот и трехатомного спирта глицерола. К 3 гидроксильным группам глицерола присоединены 3 остатка жирных кислот



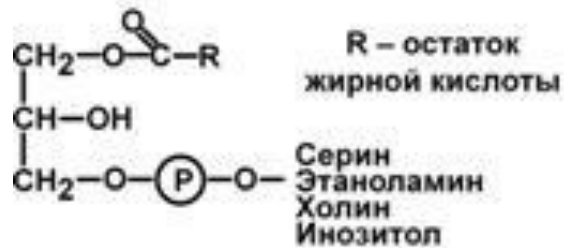
ТАГ – гидрофобные молекулы, различаются строением жирнокислотных радикалов (R_1 , R_2 , R_3).



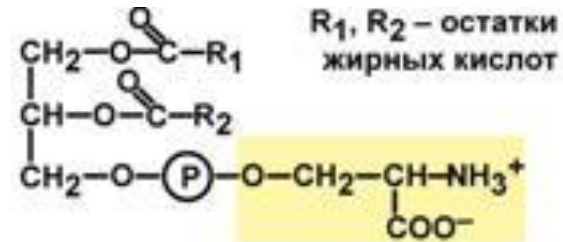
Строение фосфолипидов



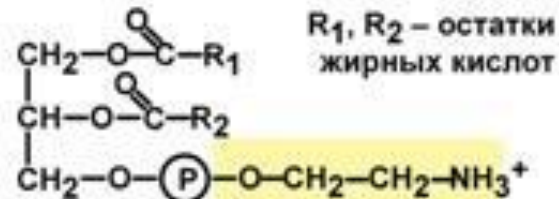
Фосфатидная кислота



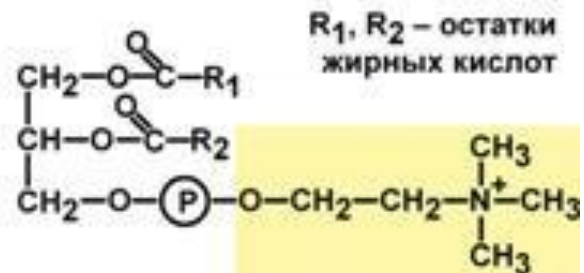
Лизофосфолипиды



Фосфатидилсерин

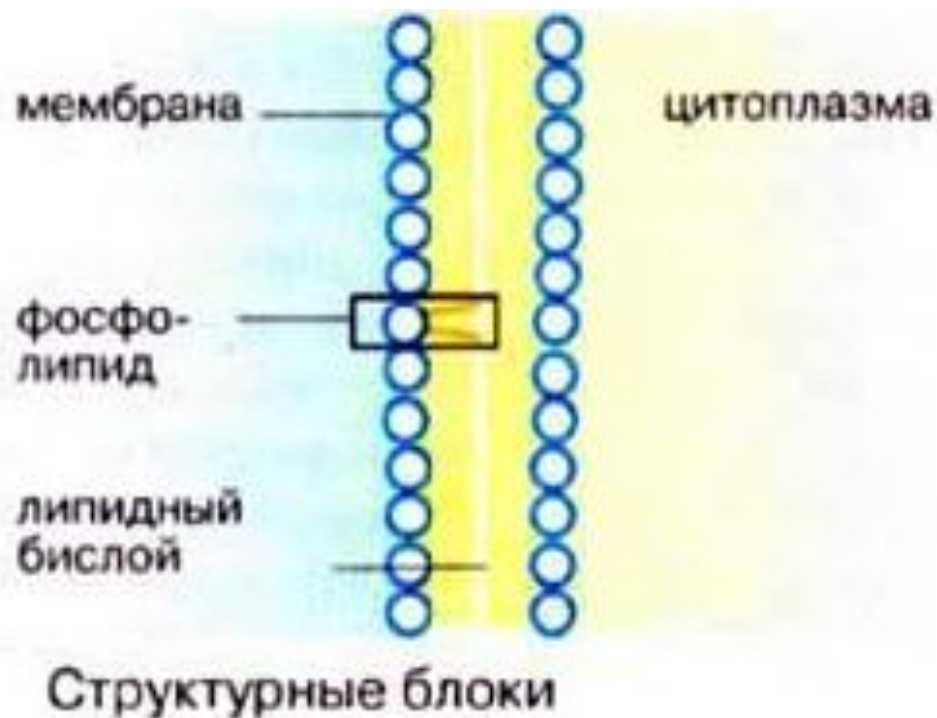


Фосфатидилэтаноламин

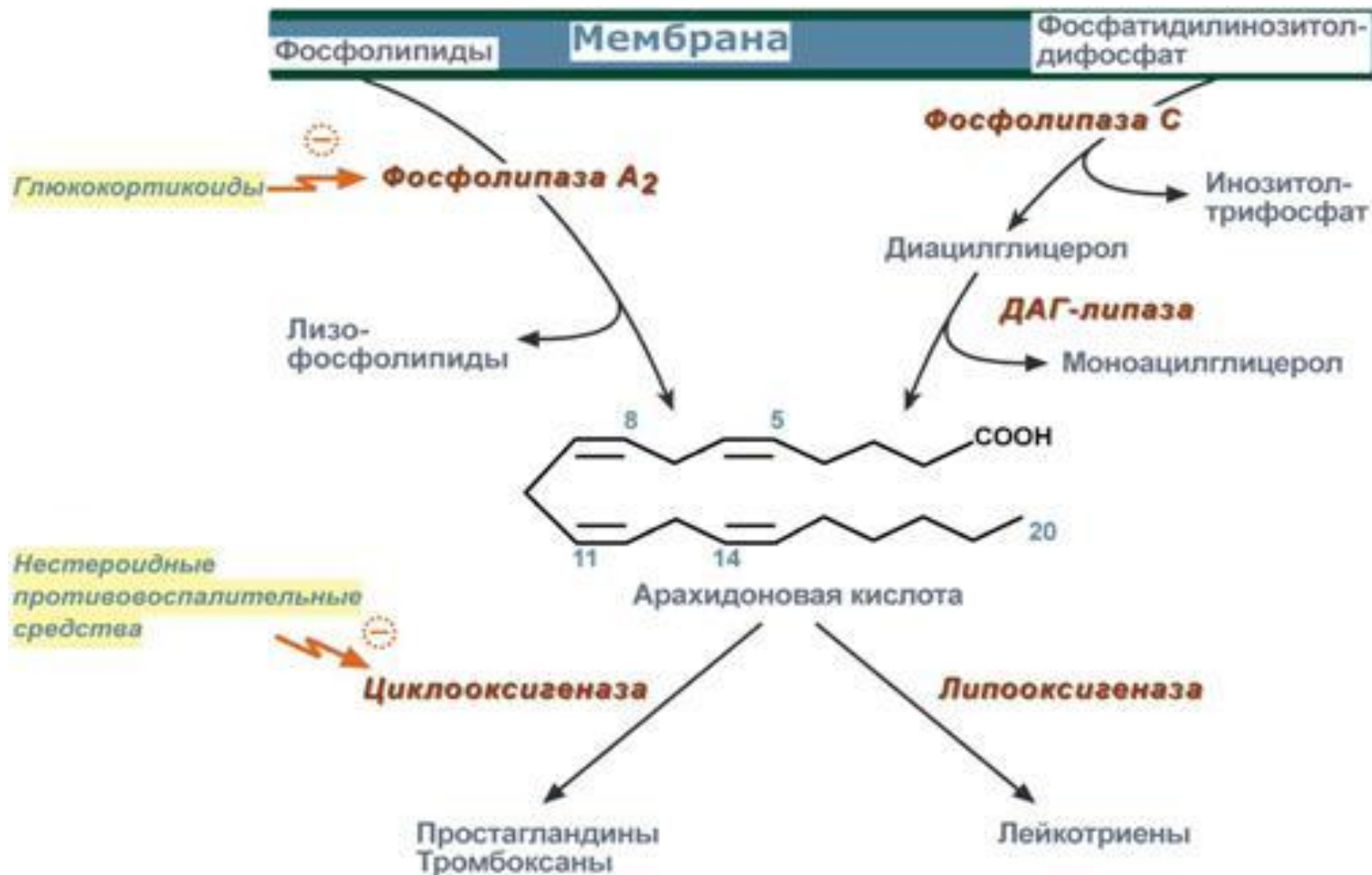


Фосфатидилхолин

Строение биологических мембран

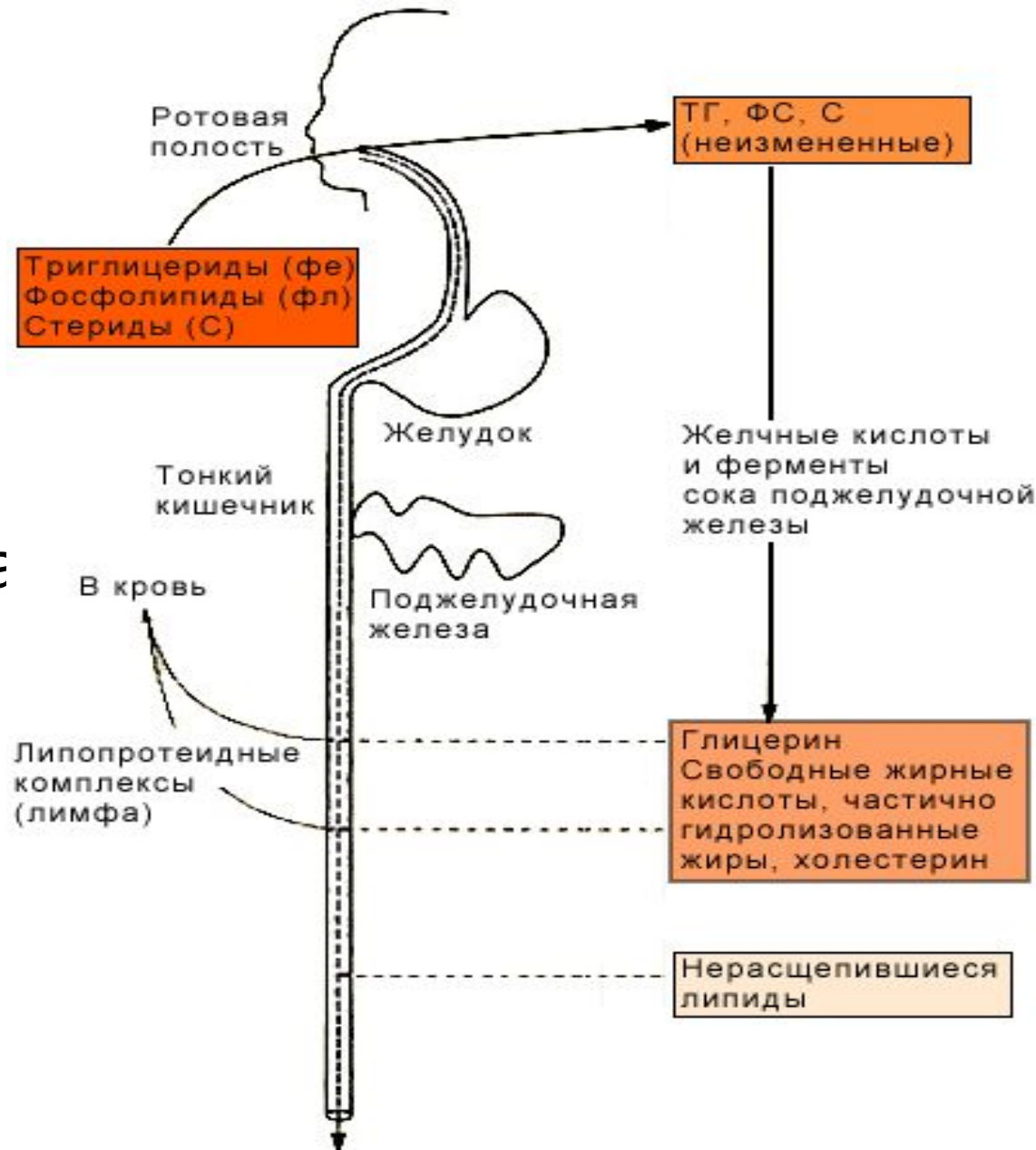


Эйкозаноиды – производные арахидоновой кислоты



Переваривание липидов

- наличие ферментов, гидролизующих липиды (липаза, фосфолипаза, холестеролэстераза),
- оптимум pH (слабощелочная),
- эмульгирование жиров.



Особенности переваривания липидов у грудных детей



- У грудного ребёнка эмульгированные жиры молока начинают перевариваться в желудке, так как:
- рН в желудке детей 5-6,
- действует желудочная и лингвальная липазы (рН оптимум 4-4,5).

Переваривание липидов у взрослого человека

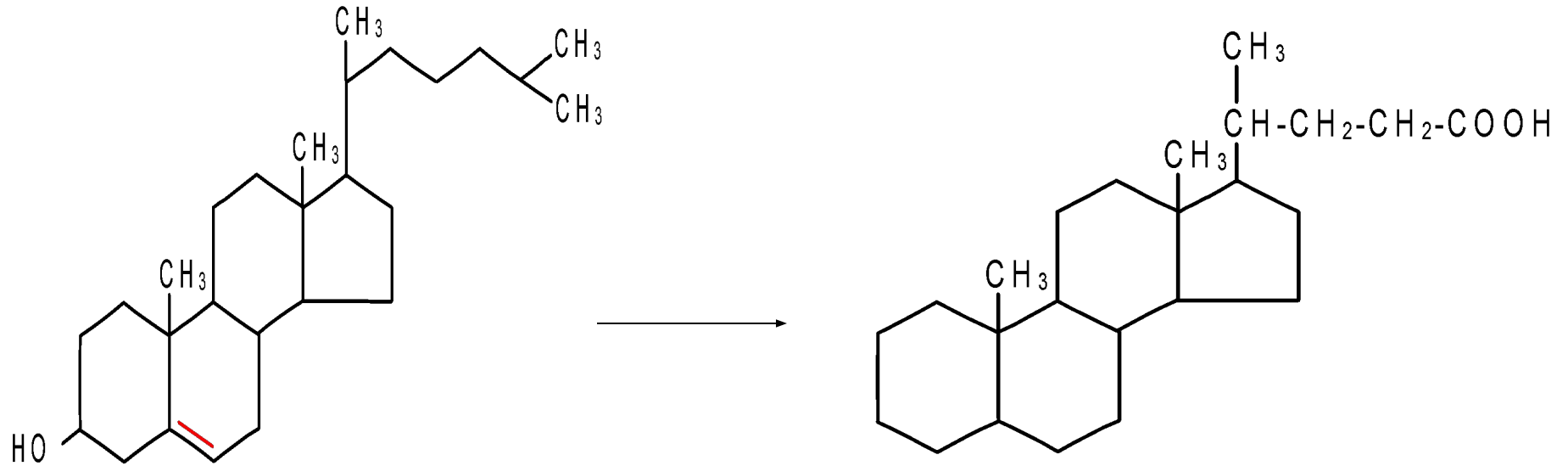
- идёт 20 минут,
- происходит в кишечнике:
в двенадцатиперстную кишку поступает желчь и сок поджелудочной железы. Происходит нейтрализация соляной кислоты, выделяется углекислый газ, который способствует перемешиванию и эмульгированию жиров.

Значение желчи

- активатор липазы и фосфолипазы,
- эмульгатор жиров,
- способствует всасыванию продуктов липолиза,
- бактерицидные свойства,
- конечный продукт обмена холестерина.

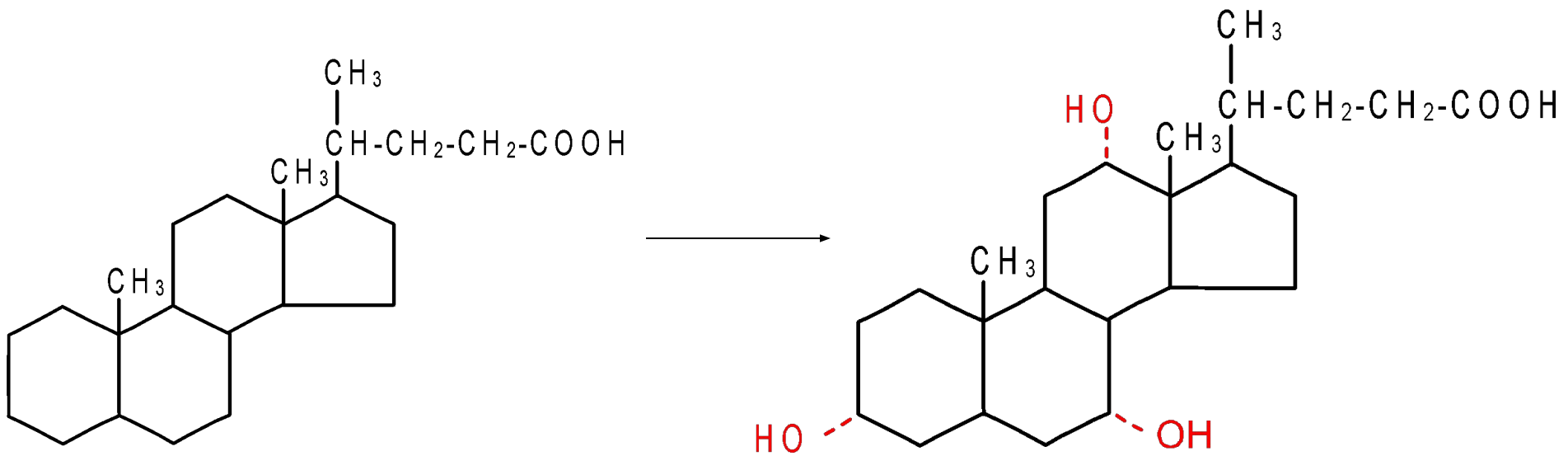
| Желчь | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Суточная норма 0,6 л рН 6,9-7,7 | |
| Вода | |
| HCO_3^- | нейтрализует желудочный сок |
| Соли желчных кислот | содействуют перевариванию липидов |
| Фосфолипиды | содействуют перевариванию липидов |
| Желчные пигменты | продукты выделения |
| Холестерин | продукт выделения |

Синтез желчных кислот



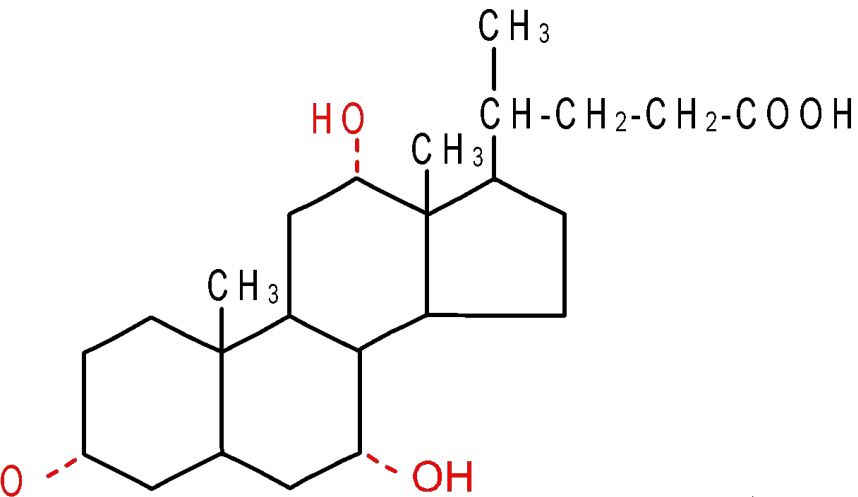
Холестерин (холестерол)

Холановая кислота

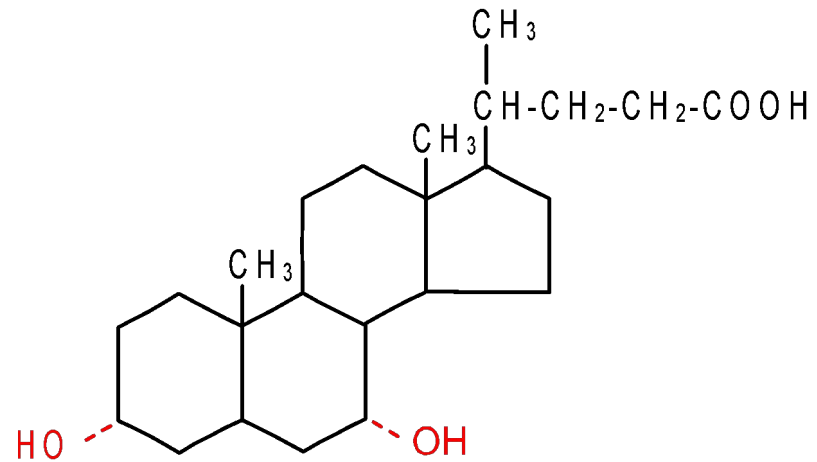


Холановая кислота

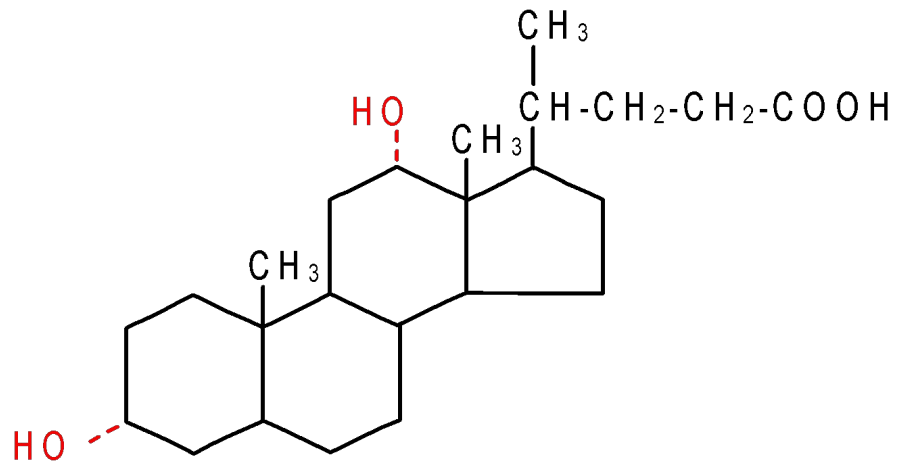
Холевая кислота



Холевая кислота



Хенодезоксихолевая кислота



Дезоксихолевая кислота

Парные желчные кислоты

- содержатся в желчи в конъюгированном состоянии с глицином или таурином,
- при углеводной пище преобладают глициновые конъюгаты,
- при высокобелковой пище – тауриновые.

| Желчная кислота | Положение OH-групп | | |
|--------------------|--------------------|-----|------|
| Холевая | C-3 | C-7 | C-12 |
| Хенодезоксихолевая | C-3 | C-7 | - |
| Дезоксихолевая | C-3 | - | C-12 |
| Литохолевая | C-3 | - | - |

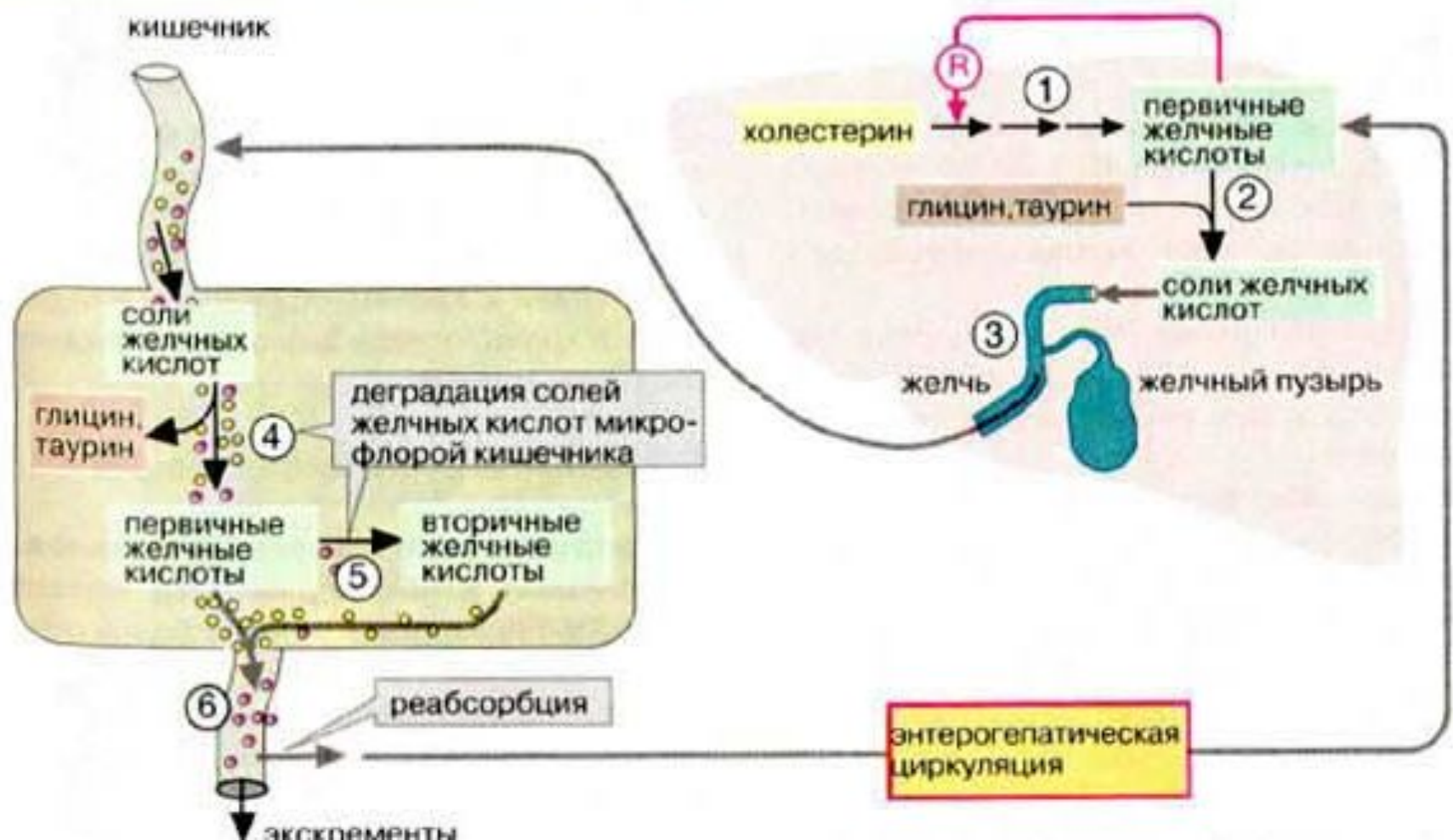
соли желчных кислот = конъюгаты желчных кислот



соли желчных кислот

Б. Желчные кислоты и соли желчных кислот

Метаболические превращения желчных кислот



Липаза панкреатическая

- гликопротеин,
- рН оптимум 8-9,
- липаза (КФ 3.1.1.3).

Активация липазы:

желчные кислоты,

колипаза

пролипаза $\xrightarrow{\hspace{10em}}$ липаза

Фосфолипазы

- гидролизуют фосфолипиды

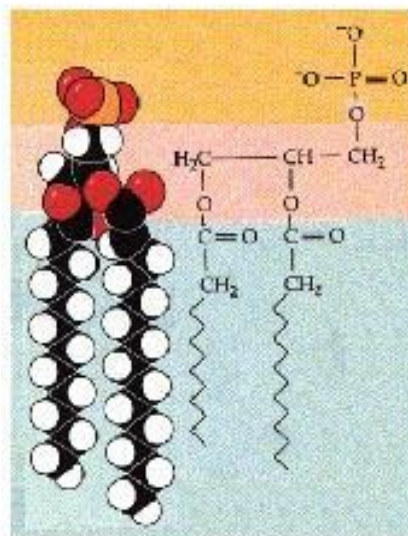
(для этого необходим кальций),

- профосфолипаза $\xrightarrow{\text{Трипсин}}$ фосфолипаза,

- при действии фосфолипазы А2 образуется лизофосфолипид и жирная кислота,

далее действует лизофосфолипаза (А1).

фосфолипид

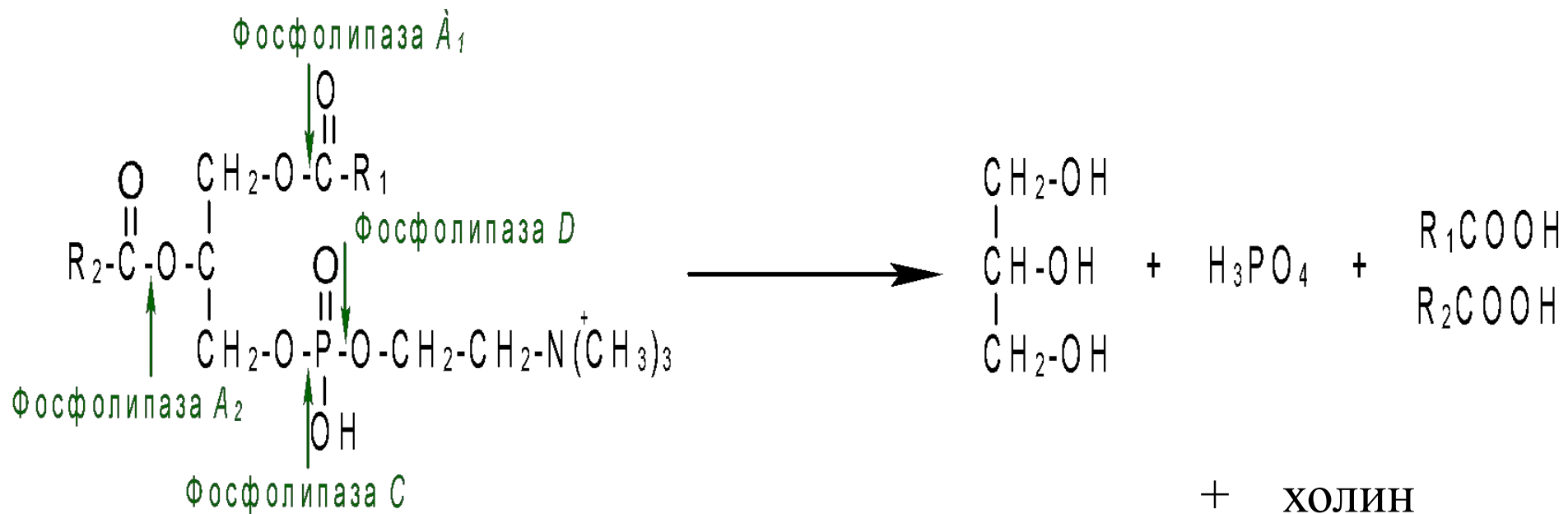


остаток
фосфорной кислоты

глицерин

жирные
кислоты

Гидролитическое расщепление фосфолипидов

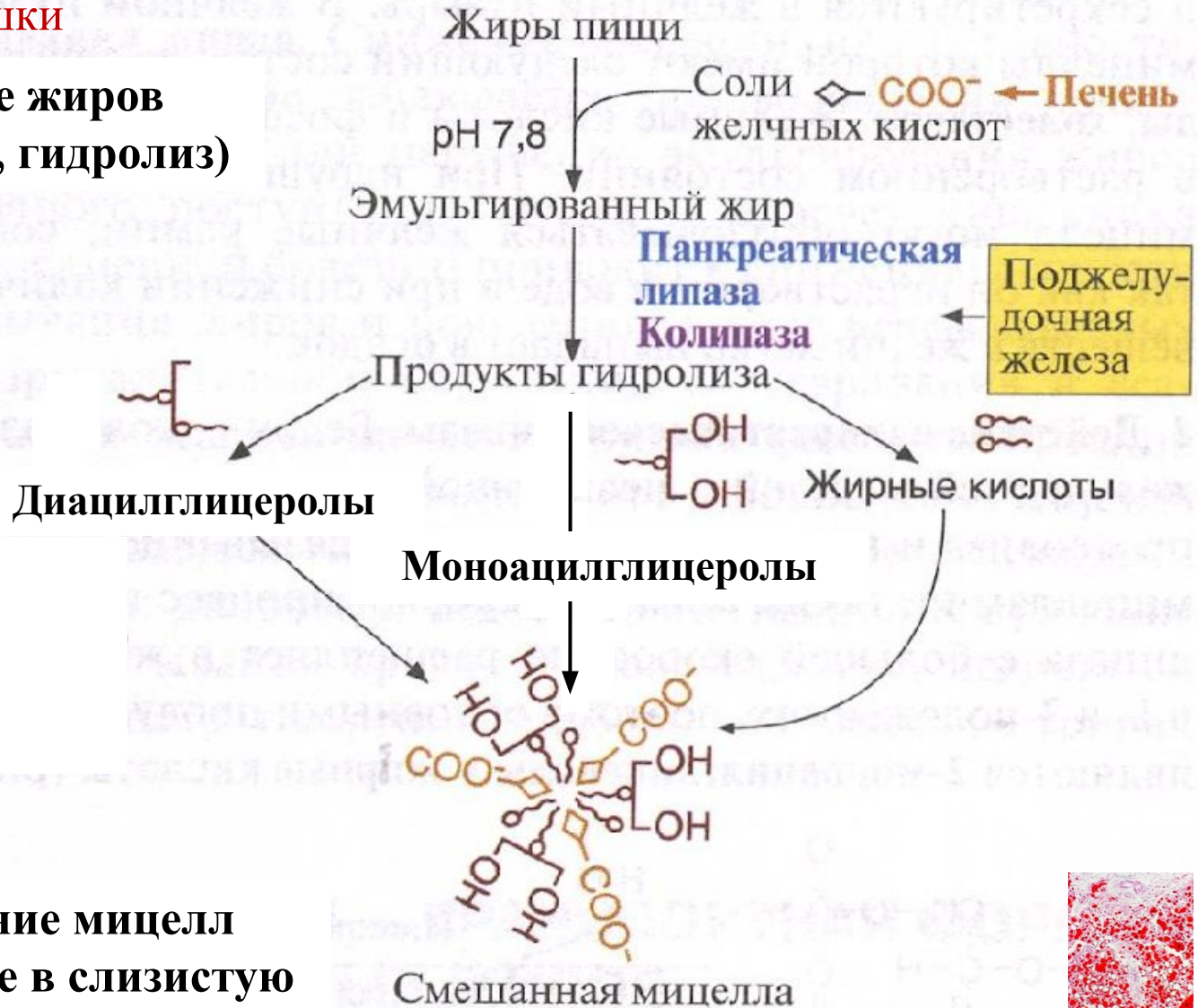


- В панкреатическом соке наряду с липазой есть моноглицеридная изомераза, катализирующая внутримолекулярный перенос ацила из $\beta(2)$ -положения моноглицерида в $\alpha(1)$ -положение.
- Далее липаза расщепляет α -моноглицерид до конечных продуктов.
- Меньшая часть α -моноглицерида успевает всосаться в стенку тонкого кишечника, минуя воздействие липазы.
- Холестеролэстераза расщепляет эфиры холестерина.

Переваривание и всасывание триацилглицеролов (ТАГ) (жиров)

Полость тонкой кишки

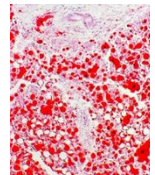
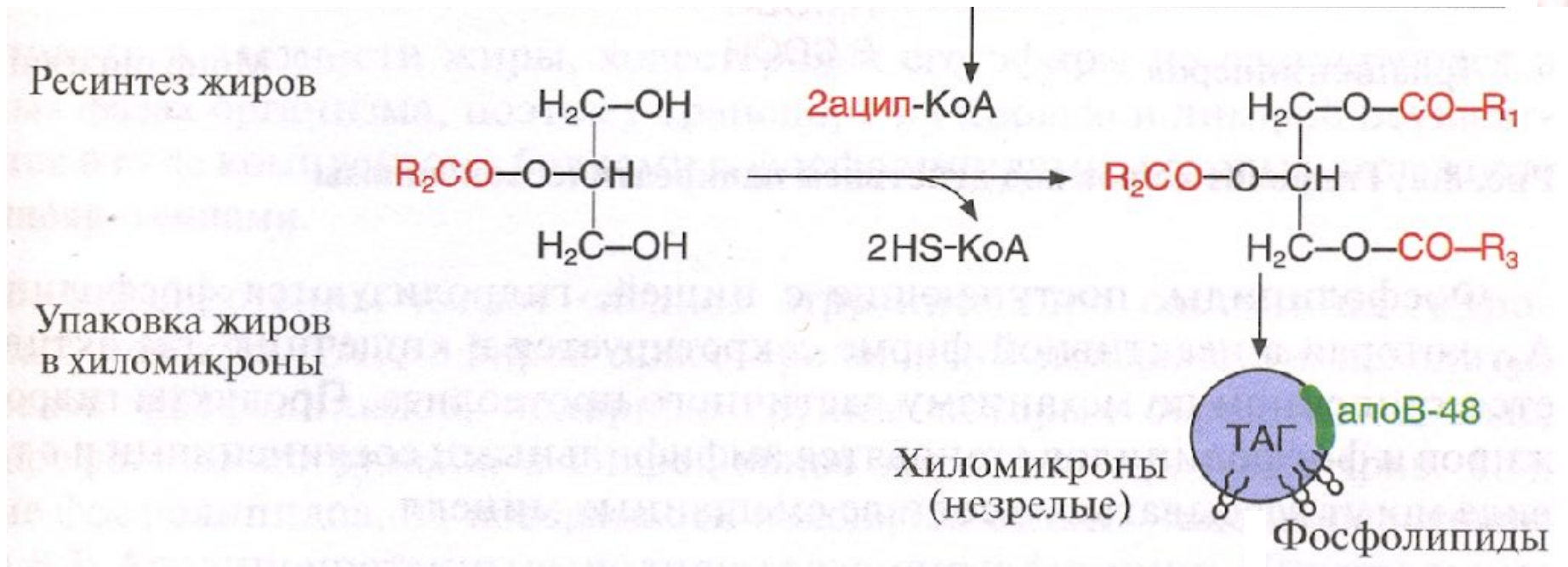
**Переваривание жиров
(Эмульгирование, гидролиз)**



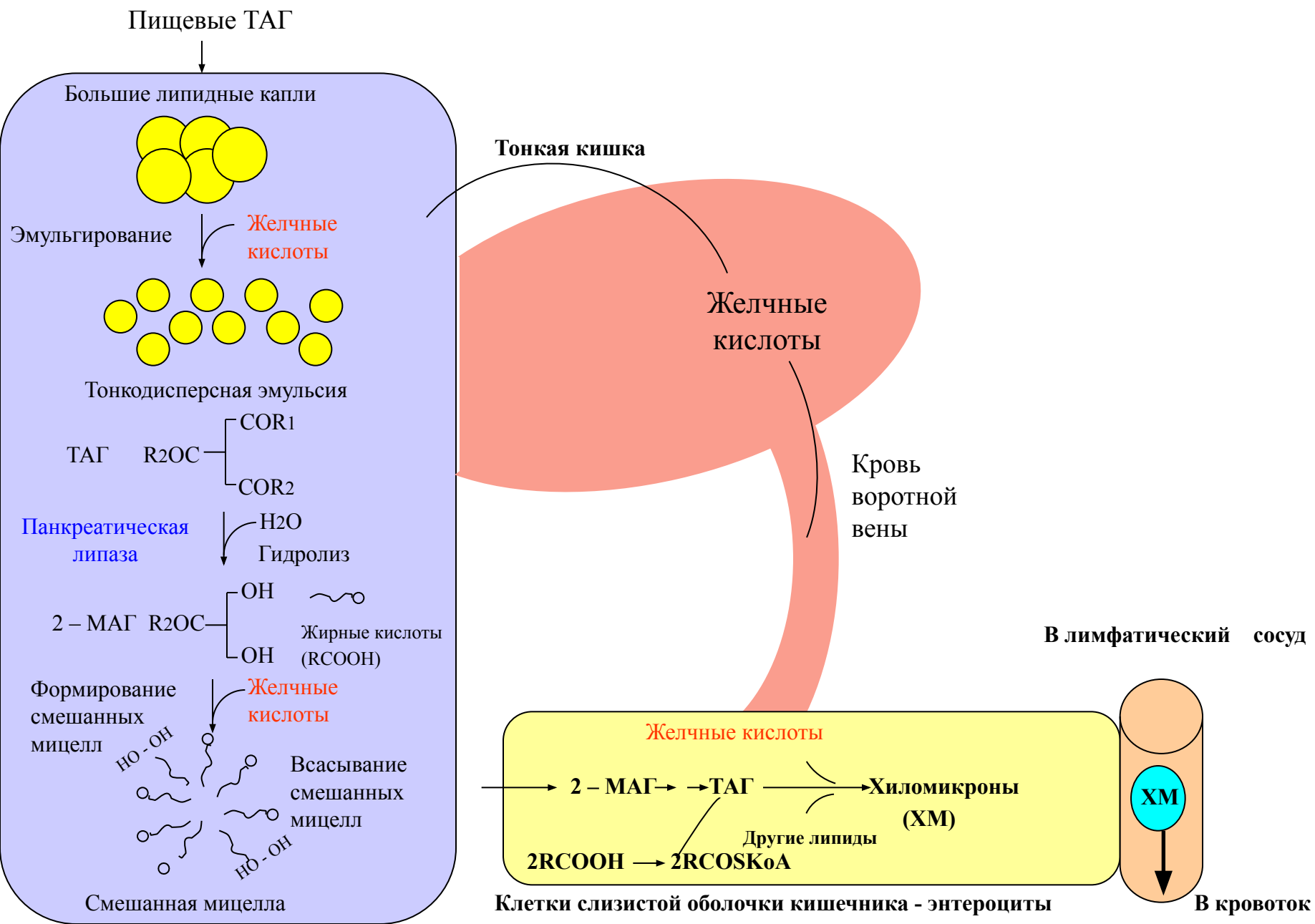
**Образование мицелл
и всасывание в слизистую
оболочку кишечника**

Ресинтез жиров в клетках слизистой оболочки кишечника (энтероцитах)

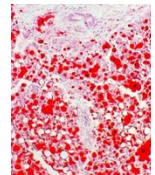
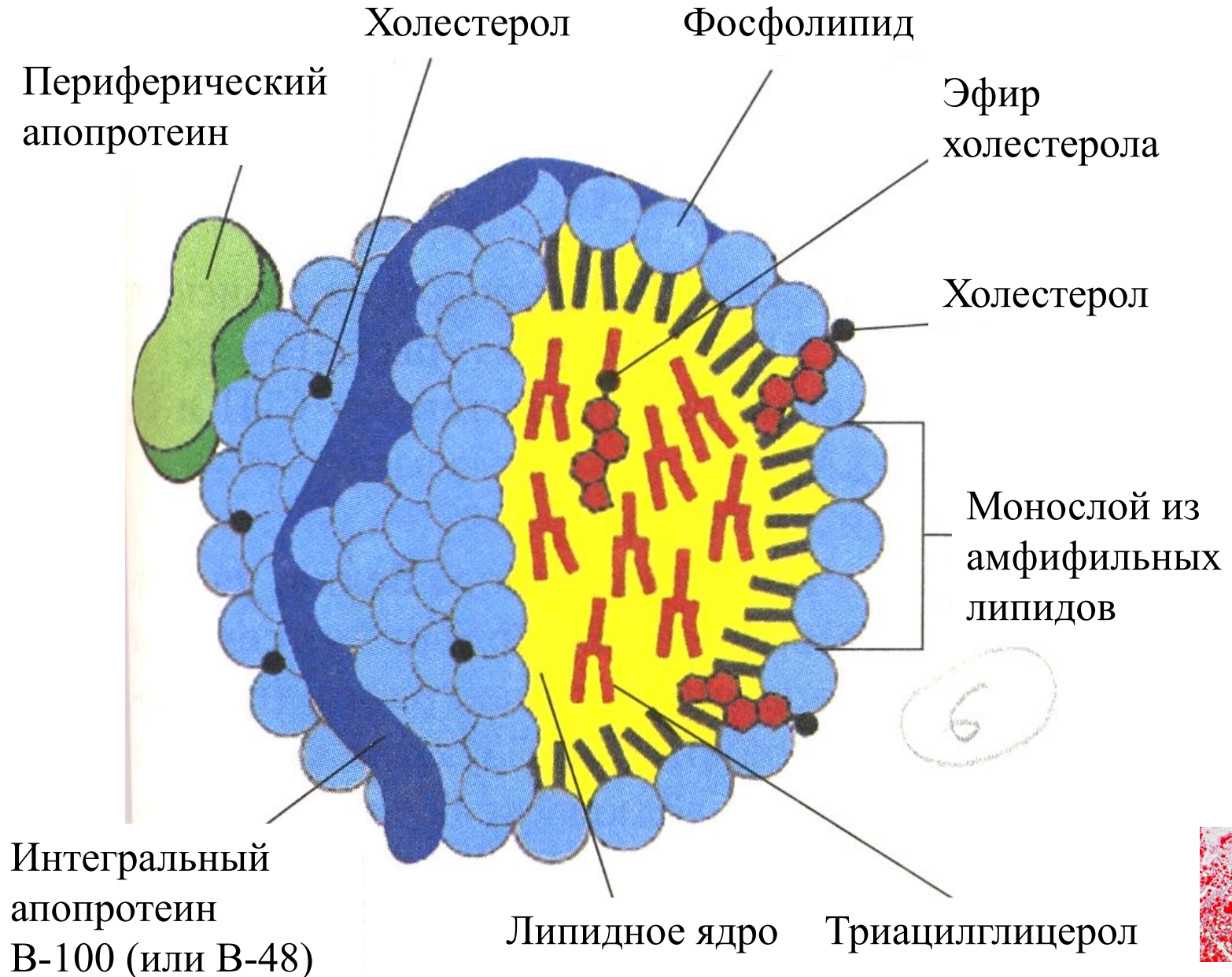
Слизистая оболочка тонкой кишки



Переваривание и всасывание пищевых ТАГ

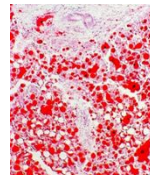
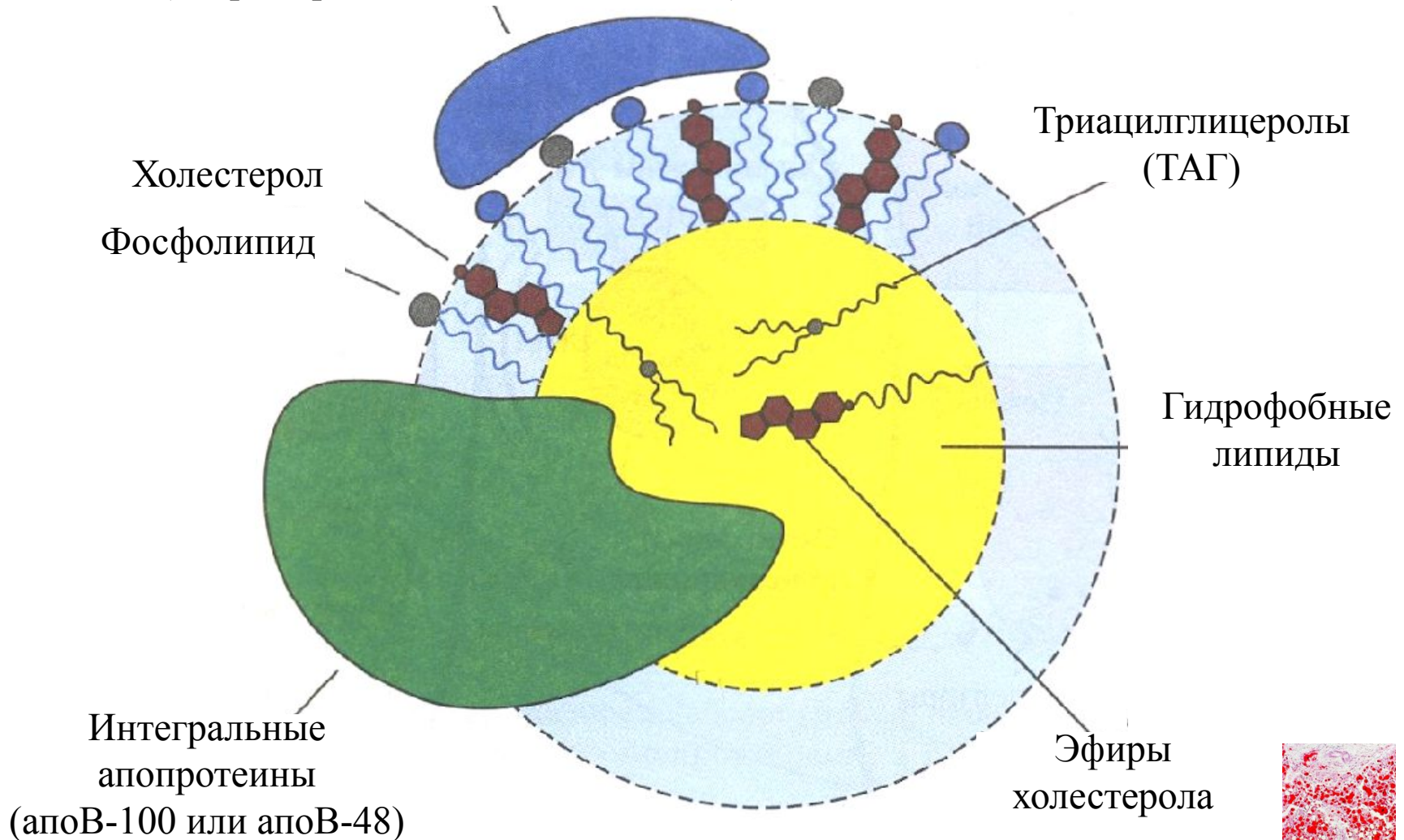


Строение липопротеида плазмы крови



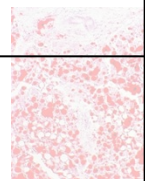
Строение липопротеидов плазмы крови (ХМ, ЛПОНП, ЛПНП, ЛПНП, ЛПВП)

Периферические апопротеины
(например, апоА-II, апоС-II, апо-Е)

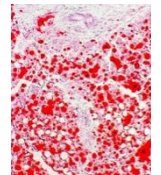
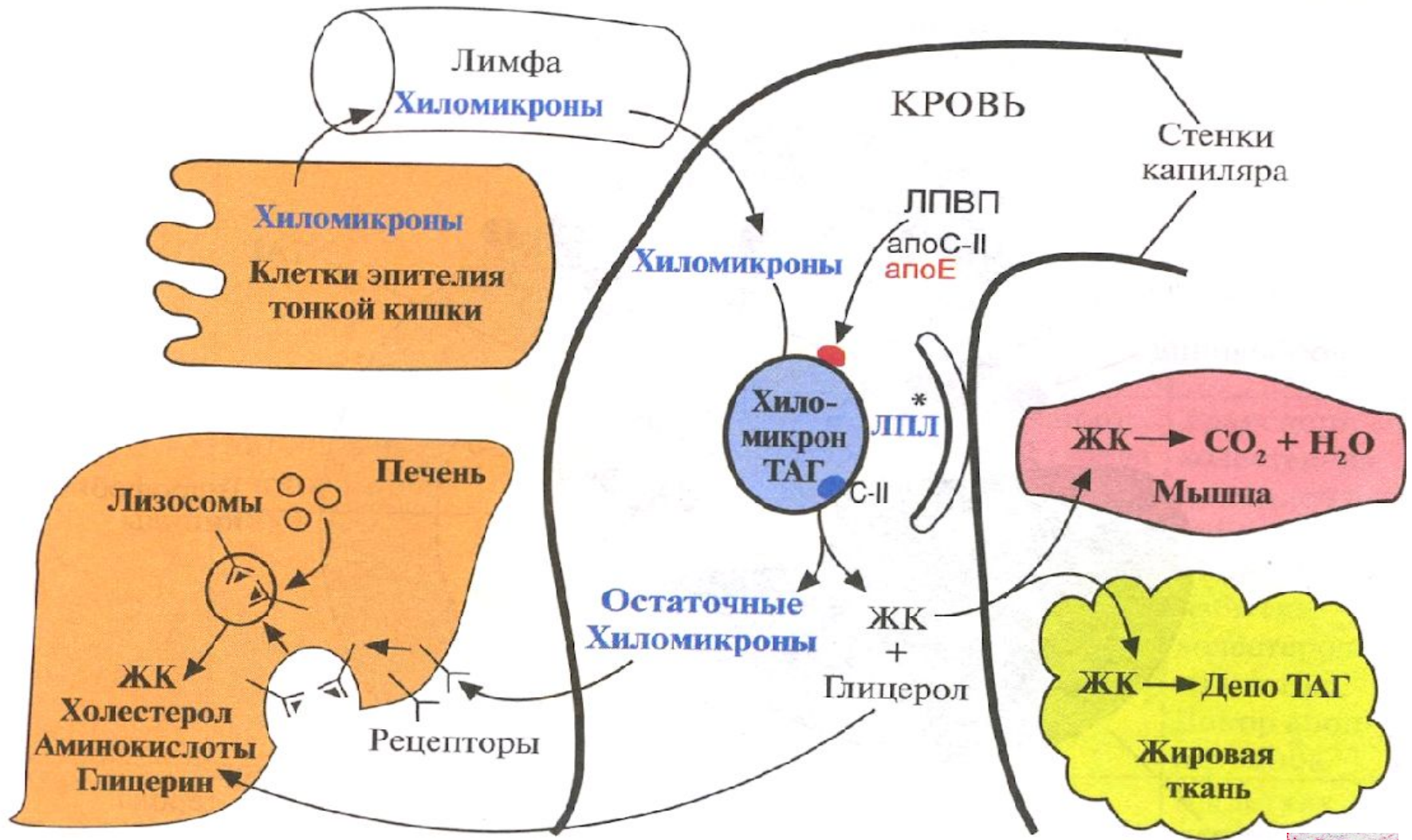


Лipopоpтеины – транспортные формы липидов

| Типы лipopоpтеинов | Хиломикроны (ХМ) | ЛПОНП | ЛППП | ЛПНП | ЛПВП |
|-----------------------|---|---|---|-------------------------------|--|
| Состав, % | | | | | |
| Белки | 2 | 10 | 11 | 22 | 50 |
| ФЛ | 3 | 18 | 23 | 21 | 27 |
| ХС | 2 | 7 | 8 | 8 | 4 |
| ЭХС | 3 | 10 | 30 | 42 | 16 |
| ТАГ | 85 | 55 | 26 | 7 | 3 |
| Функции | Транспорт липидов из клеток кишечника (экзо-генных липидов) | Транспорт липидов, синтезируемых в печени (эндо-генных липидов) | Промежуточная форма превращения ЛПОНП в ЛПНП под действием фермента ЛП-липазы | Транспорт холестерина в ткани | Удаление избытка холестерина из клеток и других лipopоpтеинов. Донор аipopоpтеинов А, С - II |
| Место образования | Эпителий тонкого кишечника | Клетки печени | Кровь | Кровь (из ЛПОНП и ЛППП) | Клетки печени – ЛПВП – предшественники |
| Плотность г/мл | 0,92 – 0,98 | 0,96 – 1,00 | | 1,00 – 1,06 | 1,06 – 1,21 |
| Диаметр частиц, нМ | Большее 120 | 30 – 100 | | 21 – 100 | 7 – 15 |
| Основные аipopоpтеины | В- 48 С – II Е | В – 100 С – II Е | В – 100 Е | В - 100 | А – I С – II Е |



Путь экзогенных жиров и хиломикронов



Путь экзогенных жиров и хиломикронов

