

ФГБОУ ВО УГМУ Минздрава России
Кафедра биохимии

Дисциплина: Биохимия

ЛЕКЦИЯ № 8

Липиды. Переваривание, всасывание, транспорт

Лектор: Гаврилов И.В.
Факультет: лечебно-профилактический,
Курс: 2

Екатеринбург, 2016г

План

- Определение
- Классификация
- Переваривание
- Всасывание
- Транспорт

- **Липиды** - это разнообразная по строению группа биоорганических веществ, с общим свойством - растворимостью в неполярных растворителях

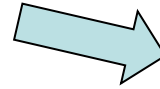
К неполярным растворителям относятся:

алифатических и ароматических углеводороды:

- Гептан,
- Бензол,
- Бензины (смеси жидких лёгких углеводородов)
- Керосины (смеси жидких алифатических и ароматических углеводородов (от C8 до C15)),
- уайт-спирит (лёгкий сорт керосина)

диэтиловые эфиры,
хлороформ.

Липиды



Неомыляемые

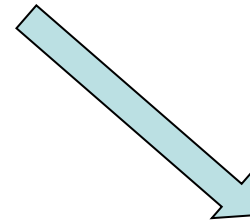
1. Стероиды (холестерин, стероидные гормоны, желчные кислоты);
2. витамины А, Д, Е, К;
3. терпены

Омыляемые (сложные эфиры)



Простые (спирт + ЖК)

1. Воска;
2. Триглицериды
3. Церамиды
4. Эфиры холестерина



Сложные (спирт + ЖК + вещества)

1. Фосфолипиды

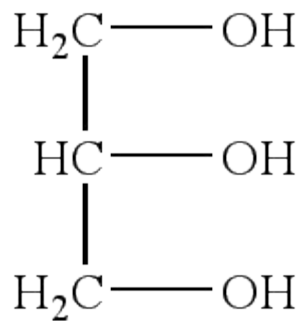
- А. Фосфоглицеролипиды
- Б. Сфингомиелины

2. Гликолипиды

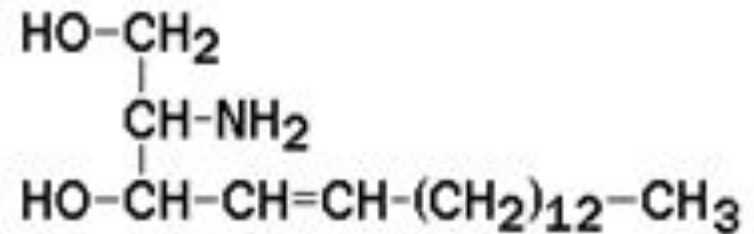
- А. Цереброзиды
- Б. Ганглиозиды

Компоненты омыляемых липидов

Спирты



Глицерин



Сфингозин

Жирные кислоты

Жирные кислоты – карбоновые кислоты, получаемые при гидролизе омыляемых липидов.

В основном к жирным кислотам относятся высшие карбоновые кислоты (содержащие 12 и более атомов С).

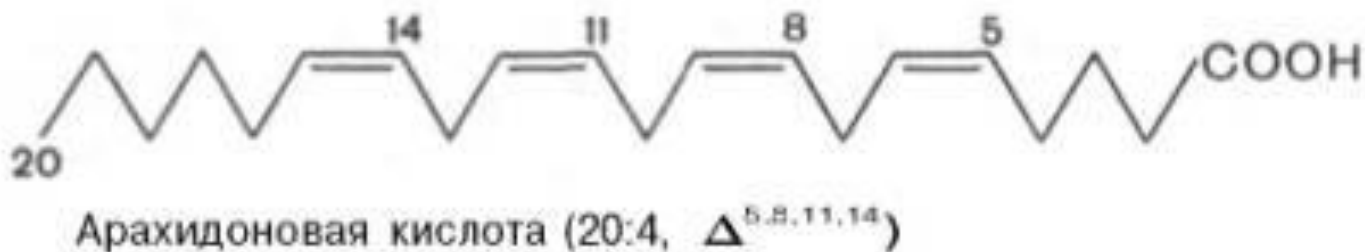
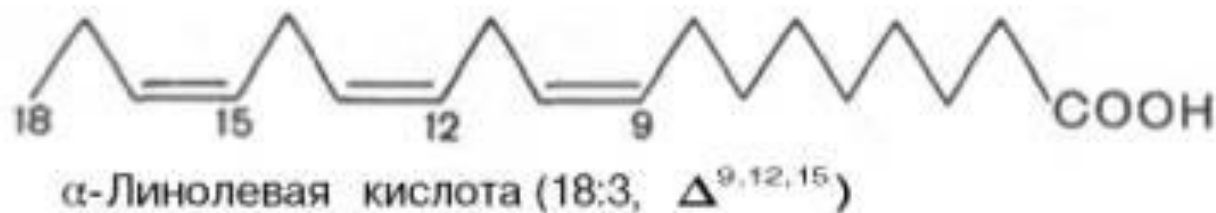
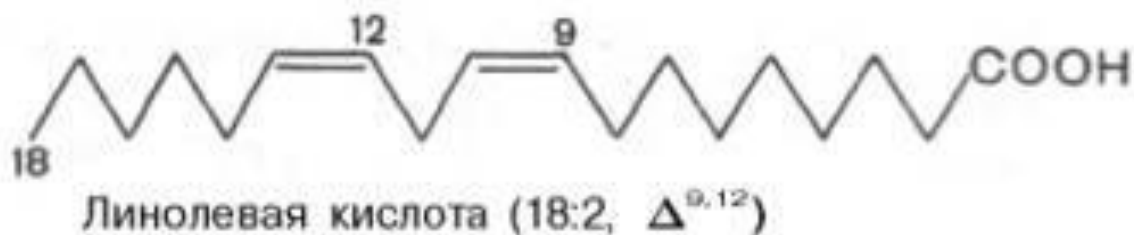
Особенности строения:

1. Количество карбоксильных групп -1;
2. Углеродный скелет линейный, не разветвлен;
3. Количество атомом углерода четное (нечетное у растений, морских организмов)
4. Количество С обычно 12-24, самое распространенное 16-18.
5. 3/4 всех жирных кислот являются непредельными (ненасыщенными), т.е. содержат двойные связи.
6. Двойные связи имеют цис-изомеризацию, несопряжены (разделены метиленовыми мостиками)
7. первая двойная связь как правило располагается между 9-м и 10-м атомами С

| № | Жирная кислота | Индекс ЖК | Δ ЖК | ω ЖК |
|----------|-----------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Лауриновая | 12:0 | | |
| 2 | Миристиновая | 14:0 | | |
| 3 | Пальмитиновая | 16:0 | | |
| 4 | Пальмитолеиновая | 16:1 | $\Delta 9$ | $\omega 9$ |
| 5 | Стеариновая | 18:0 | | |
| 6 | Олеиновая | 18:1 | $\Delta 9$ | $\omega 9$ |
| 7 | Линолевая | 18:2 | $\Delta 9,12$ | $\omega 6$ |
| 8 | Линоленовая | 18:3 | $\Delta 9,12,15$ | $\omega 3$ |
| 9 | Октадекатетраеновая | 18:4 | $\Delta 5,8,11,14$ | $\omega 3$ |
| 10 | Арахидиновая | 20:0 | | |
| 11 | Гадолеиновая | 20:1 | $\Delta 9$ | $\omega 9$ |
| 12 | Эйкозатриеновая | 20:3 | $\Delta 8,11,14$ | $\omega 6$ |

| № | Жирная кислота | Индекс ЖК | Δ ЖК | ω ЖК |
|----|-------------------|-----------|--------------------------|-------------|
| 13 | Арахидоновая | 20:4 | $\Delta 5,8,11,14$ | $\omega 6$ |
| 14 | Эйкозапентаеновая | 20:5 | $\Delta 5,8,11,14,17$ | $\omega 3$ |
| 15 | Бегеновая | 22:0 | | |
| 16 | Эруковая | 22:1 | $\Delta 13$ | $\omega 9$ |
| 17 | Андреновая | 22:4 | $\Delta 9,12,15,18$ | $\omega 6$ |
| 18 | Докозапентаеновая | 22:5 | $\Delta 4,7,10,13,16$ | $\omega 6$ |
| 19 | Докозагексаеновая | 22:6 | $\Delta 4,7,10,13,16,19$ | $\omega 3$ |
| 20 | Лигноцериновая | 24:0 | | |
| 21 | Невроновая | 24:1 | $\Delta 15$ | $\omega 9$ |
| 22 | Цереброновая | 24:0 | α -гидрокси ЖК | |

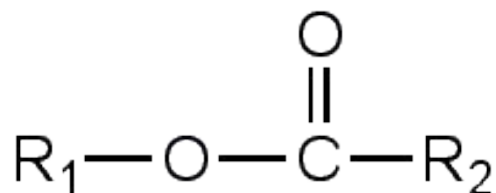
В природе обнаружено свыше 200 жирных кислот, однако в тканях человека и животных в составе простых и сложных липидов найдено около 70 жирных кислот, причем более половины из них в следовых количествах.



Простые липиды

1. Воска - разнообразные продукты, как правило биоорганического происхождения, сложного химического состава сходные с пчелиным воском

Основным компонентом биоорганических восков являются сложные эфиры высшего одноатомного спирта (C12-46) и насыщенной одноосновной карбоновой кислоты



Воски не смачиваются водой, водонепроницаемы, обладают низкой электрической проводимостью, горючи. В отличие от ТГ омыляются только в щелочной среде. Т плавления 40-90С.

Классификация восков

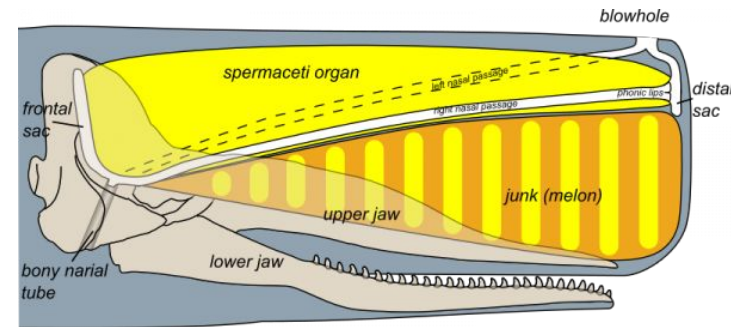
1. Растительные воска (сахарного тростника, карнаубский и т. д.)
2. Животные воска (пчелиный, шерстяной, ланолин, спермацет и т.д.)
3. Ископаемые воска (торфяной, буроугольный и т.д)



Карнаубская пальма



Карнаубский воск



Спермацет



Пчелиный воск

Многокомпонентный продукт, содержащий свыше 300 веществ.

Основные компоненты:

1. сложные эфиры высших жирных кислот и высших жирных спиртов - 72.9%.
2. свободные жирные кислоты - 13.5÷14.5%;
3. предельные углеводороды - 10.5÷13.5%;
4. свободные жирные спирты - 1÷1.25%;



Пчелиный воск



Бурый уголь



Торф



Монтан воск



Торфяной воск

Воска покрывают части растений, тела животных и защищают их от высыхания, проникновения бактерий, водорастворимых чужеродных веществ.



Суккуленты



Насекомые

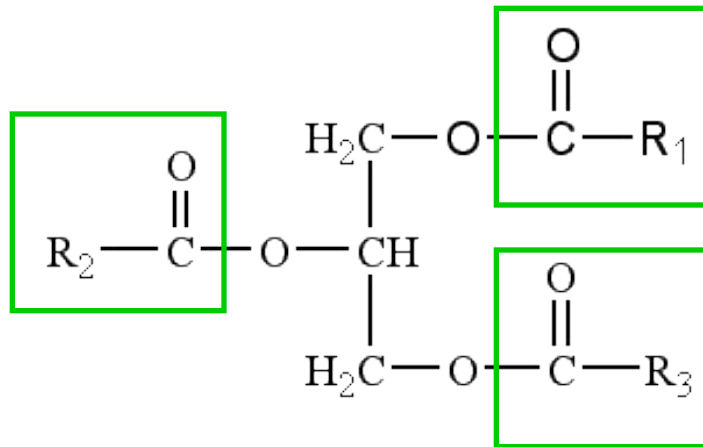


Хвойные

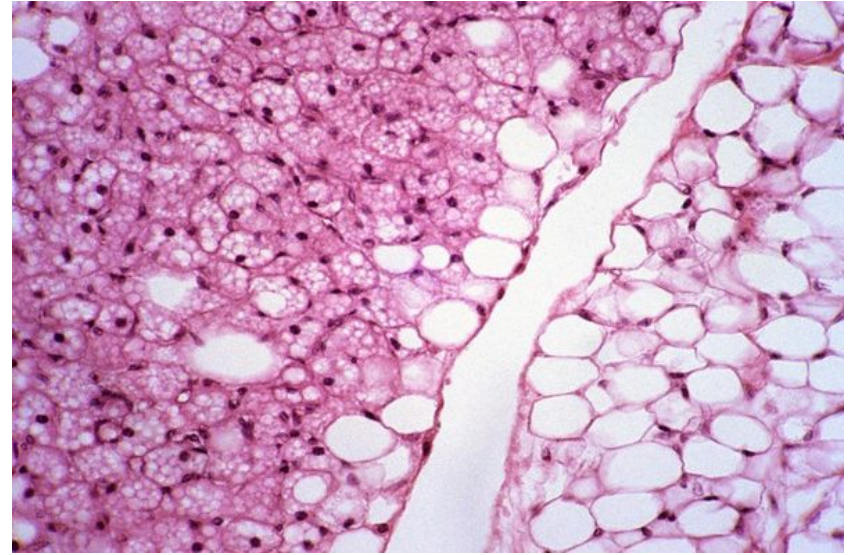


Кожа человека

2. Триглицериды – сложные эфиры глицерина и карбоновых кислот



Триглицериды



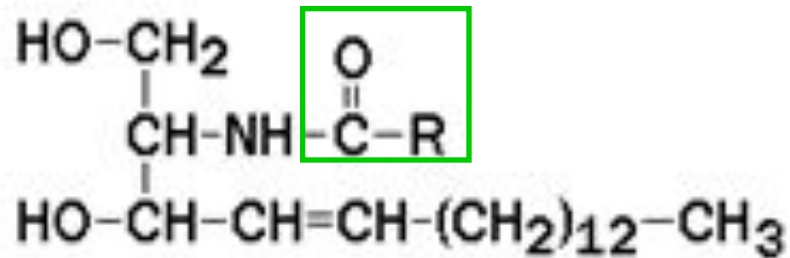
Бурая жировая
ткань

Белая жировая
ткань

ТГ в основном локализуются в жировой ткани, бывают липидные капли в цитоплазме других клеток

1. ТГ являются формой хранения глицерина и жирных кислот.
2. ТГ, в составе жировой ткани, обеспечивают теплоизоляционную и механическую защиту тканей
3. ТГ обеспечивают пассивную детоксикацию, сорбируют водонерастворимые ксенобиотики и токсичные метаболиты

3. Церамиды – сложные эфиры жирных кислот и сфингозина



Церамид

Церамиды - твердые или воскоподобные в-ва, встречаются в свободном состоянии в печени, селезенке, эритроцитах.

Биологическое значение

Являются промежуточными веществами при синтезе сфингомиелинов, цереброзидов, ганглиозидов и т. п

Сложные липиды

1. Фосфолипиды

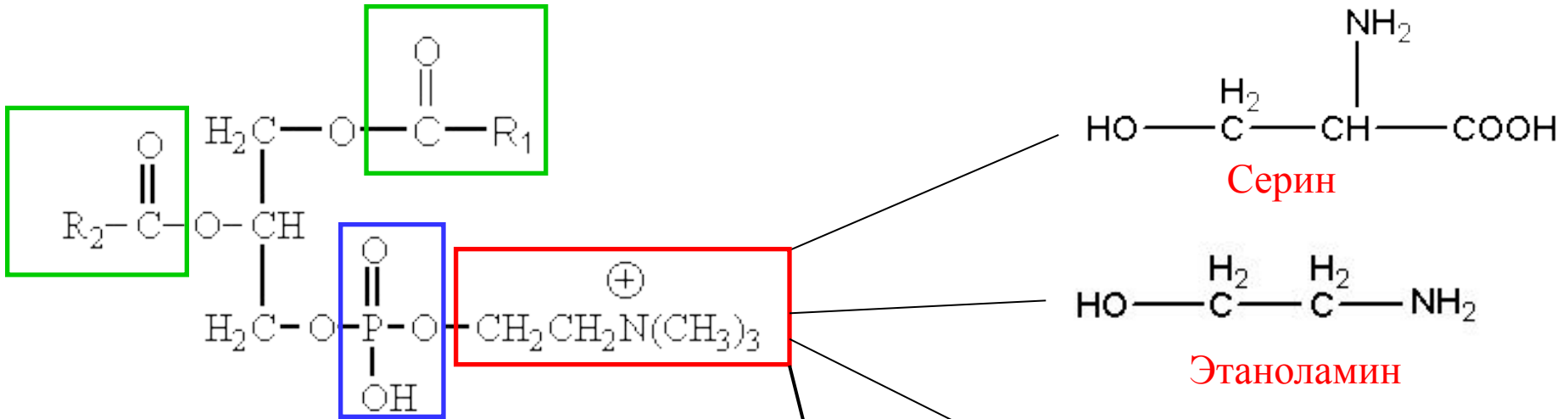
Фосфолипиды формируют:

1. клеточные мембраны,
2. липопротеины,
3. мицеллы жёлчи,
4. в альвеолах лёгких поверхностный слой (сурфактант), предотвращающий слипание альвеол во время выдоха.

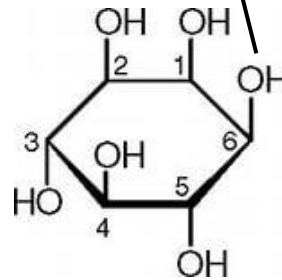
Нарушения обмена фосфолипидов приводит к:

1. респираторному дистресс-синдрому новорождённых (недостаточное формирование сурфактанта у детей является частой причиной смерти),
2. жировому гепатозу,
3. лизосомным болезням (наследственные заболевания, связанных с накоплением гликолипидов - снижается активность гидролаз лизосом, участвующих в расщеплении гликолипидов)

А. Фосфолипиды



Фосфатидил**ХОЛИН**
(лецитин)

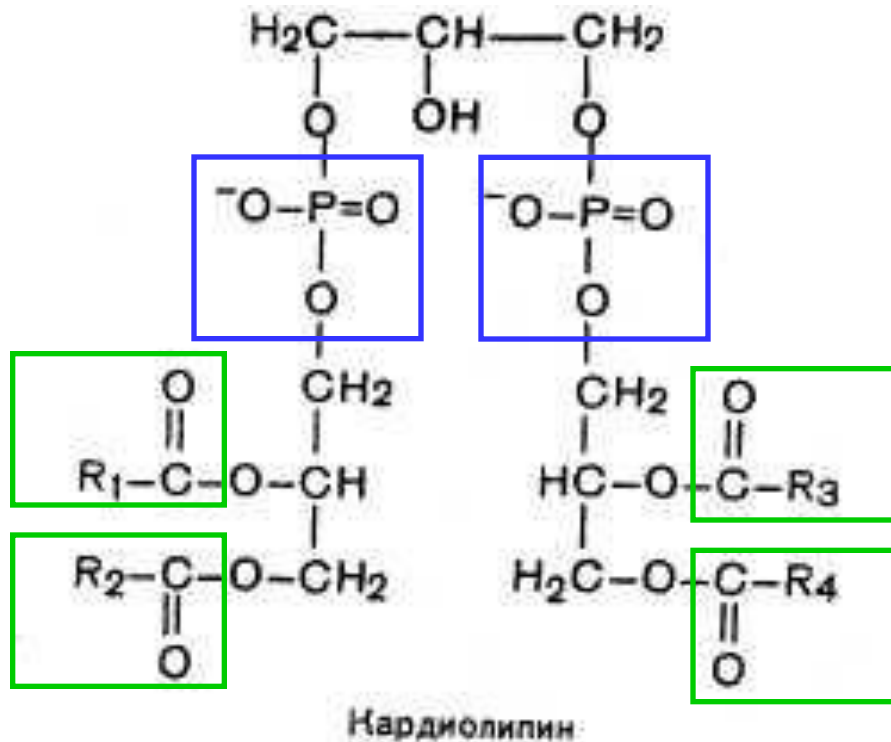


ИНОЗИТОЛ (Раньше являлся витамином В₈)

Состав:

1. спирт глицерин;
2. 2 жирные кислоты;
3. фосфорная кислота;
4. другие вещества (серин, этаноламин, холин, инозитол)

Кардиолипин

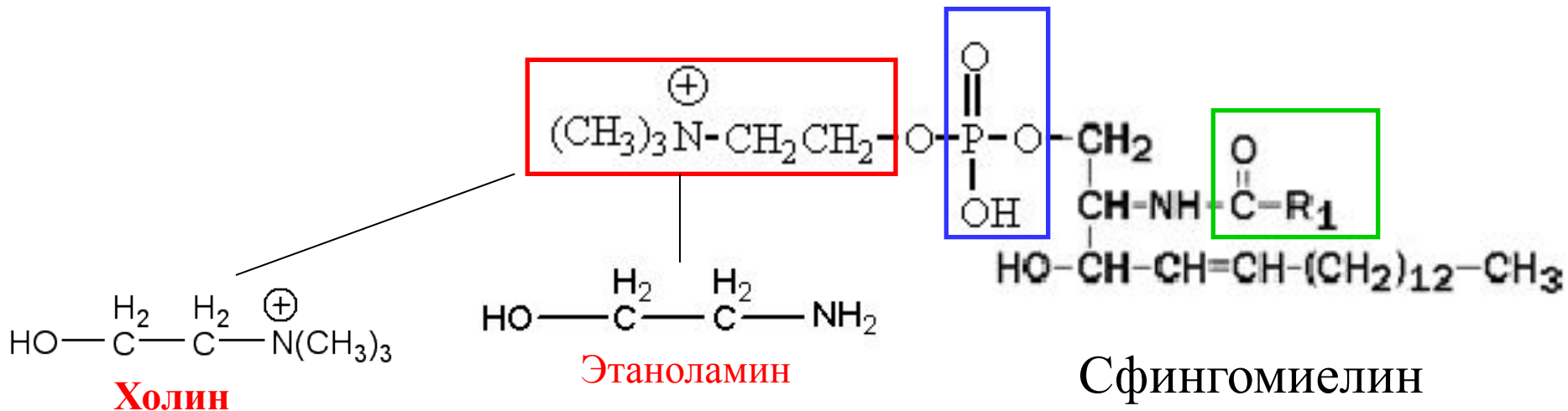


Находится, главным образом, во внутренней мембране митохондрий и в небольшом количестве в сурфактанте лёгких.

Функции отдельных фосфолипидов

1. Дипальмитоилфосфатидилхолин - основной компонент сурфактанта (до 80% от всех фосфолипидов)
2. фосфатидилинозитол-4,5-бисфосфат, располагается в наружной мембране клеток и участвует в передаче гормональных сигналов внутрь клетки

Б. Сфингомиелины

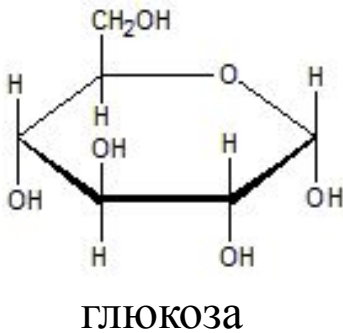
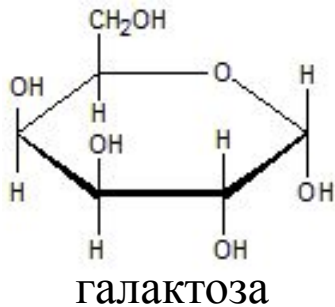


- Состав:**
1. спирт сфингозин;
 2. 1 жирная кислота;
 3. фосфорная кислота;
 4. другие вещества (холин, этаноламин)

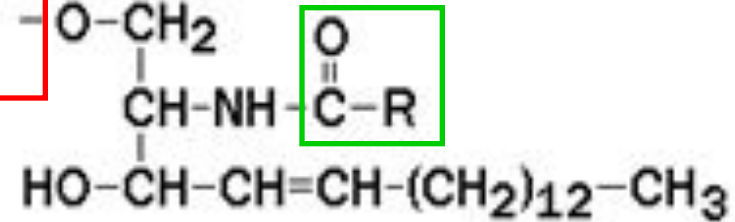
- Образуют наружный слой клеточных мембран животных и растительных клеток,
- много в нервной ткани (образует миелиновые оболочки. Содержат ЖК с длинной цепью: лигноцериновую (24:0) и нервоновую (24:1) кислоты)
- компонент сурфактанта (<1/4 лецитина).

2. Гликолипиды

А. Цереброзиды



галактоза



Галактоцереброзид

Состав:

1. спирт сфингозин;
2. 1 жирная кислота;
3. моносахариды (галактоза, глюкоза)

- *Галактоцереброзид* - главный липид миелиновых оболочек;
- *Глюкоцереброзид* входит в состав мембран многих клеток и служит предшественником в синтезе более сложных гликолипидов.

Катаболизм гликофинголипидов в норме и при патологии (лизосомальные болезни)



Гликофинголипиды входят в состав наружного слоя клеточных мембран, их углеводная часть располагается на поверхности клеток, они часто обладают антигенными свойствами.

Функции гликофинголипидов:

Взаимодействие между:

- клетками;
- клетками и межклеточным матриксом;
- клетками и микробами (GM1, находящийся на поверхности клеток кишечного эпителия, является местом прикрепления холерного токсина).

Модуляция:

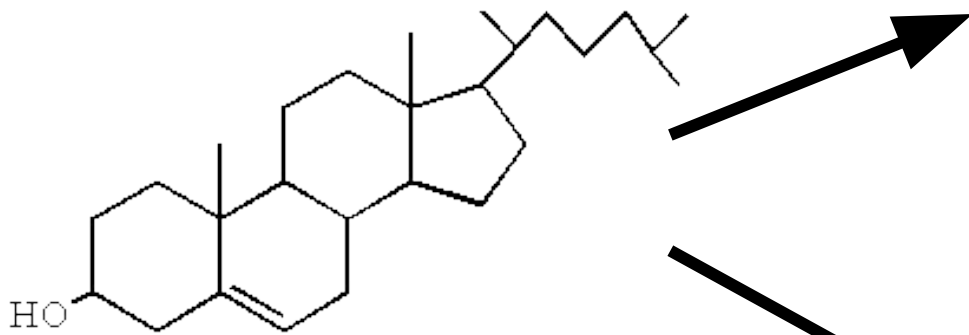
- активности протеинкиназ;
- активности рецептора фактора роста;
- антипролиферативного действия (апоптоза, клеточного цикла).

Обеспечение:

- структурной жёсткости мембран;
- конформации белков мембран.

Неомыляемые липиды

1. Стероиды



Холестерин

А. Стероидные гормоны

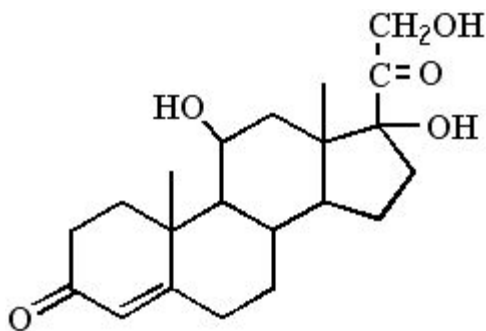
- Половые
- Кортикоиды (глюко-, минералокортикоиды)
- Кальцитриол

Б. Желчные кислоты

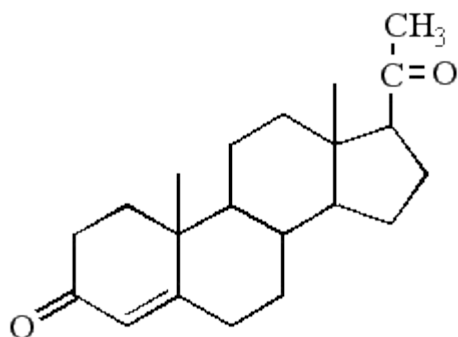
- Гликохолиевые
- таурохолиевые

А. Стероидные гормоны

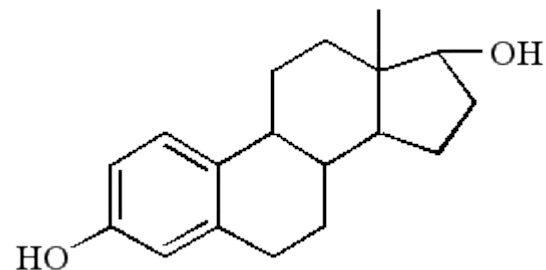
Кортикоиды



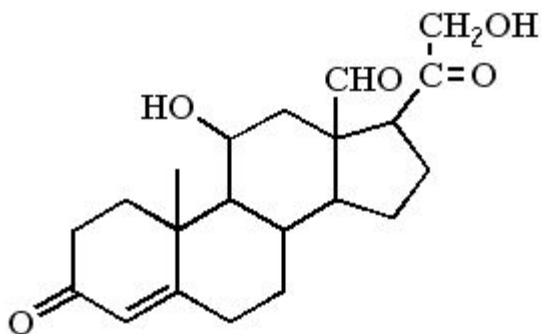
Кортизол



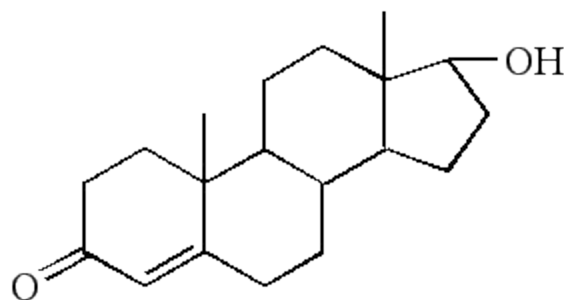
Прогестерон



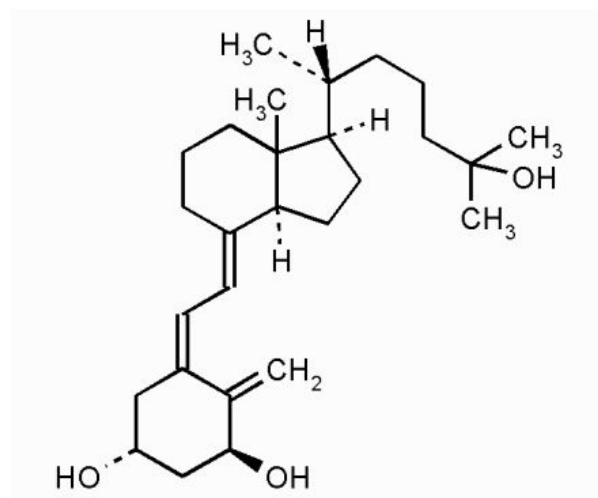
Эстрадиол



Альдостерон



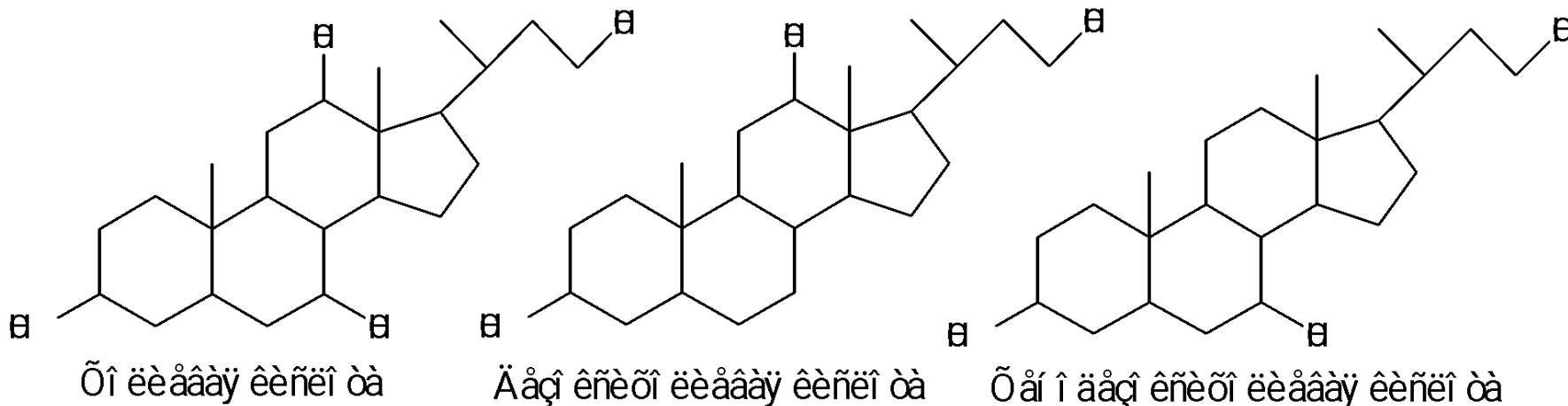
Тестостерон



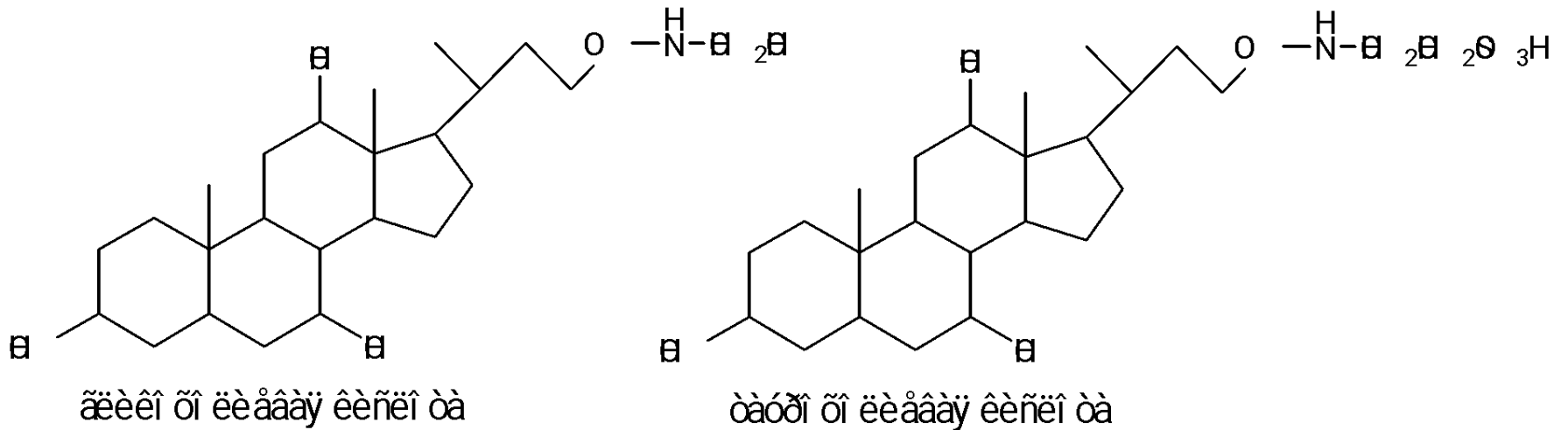
Кальцитриол

Б. Желчные кислоты

Желчные кислоты (производные холановой кислоты) синтезируются в печени из холестерина (холиевая, и хенодезоксихолиевая кислоты) и образуются в кишечнике (дезоксихолиевая, литохолиевая, и д.р. около 20) из холиевой и хенодезоксихолиевой кислот под действием микроорганизмов.



В желчи желчные кислоты присутствуют в основном в виде конъюгатов с глицином (66-80%) и таурином (20-34%), образуя парные желчные кислоты: таурохолевую, гликохолевую и др.

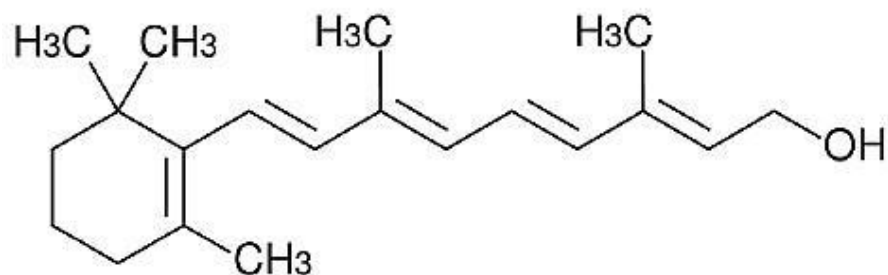


Секреция 2,8 – 3,5 г/сут

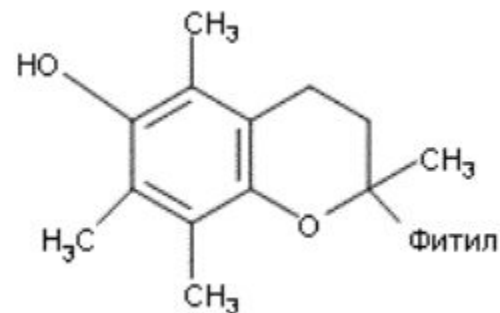
БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ:

1. Эмульгирование жиров;
2. Активация липазы;
3. Образование мицелл для всасывания жирных кислот;

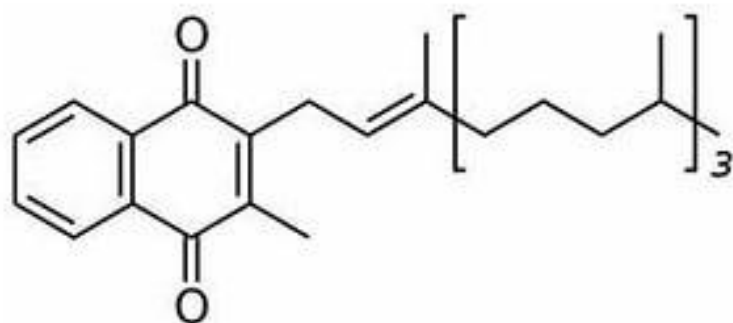
2. Жирорастворимые витамины



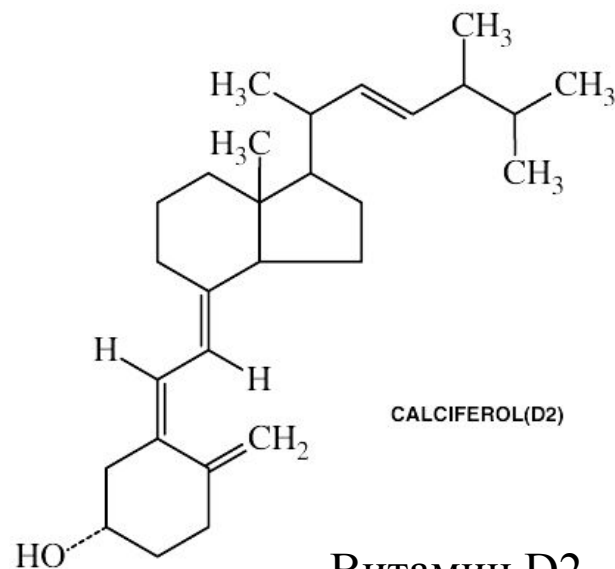
Витамин А



Витамин Е



Витамин К



Витамин D2

3. Терпены

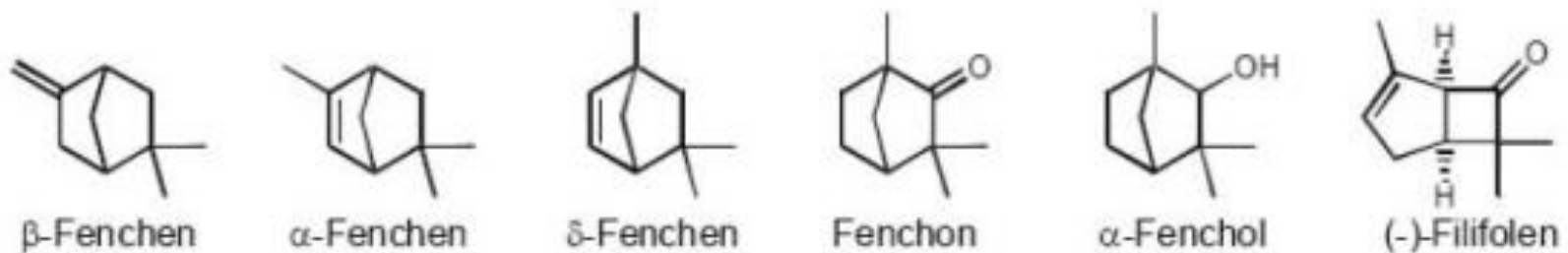
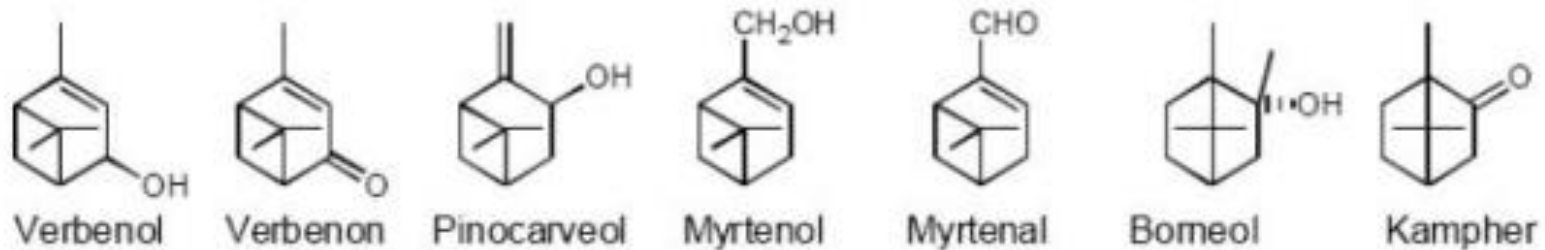
ТЕРПЕНЫ, группа преим. ненасыщенных углеводородов состава $(C_5H_8)_n$, где $n > 2$; широко распространены в природе (гл. образом в растительных, реже в животных организмах).

Все терпены обычно рассматривают как продукты полимеризации изопрена, хотя биосинтез их иной.

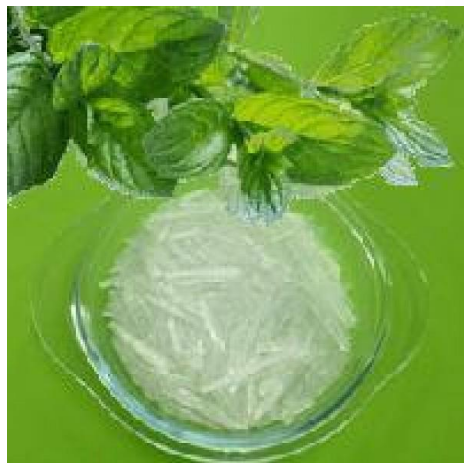
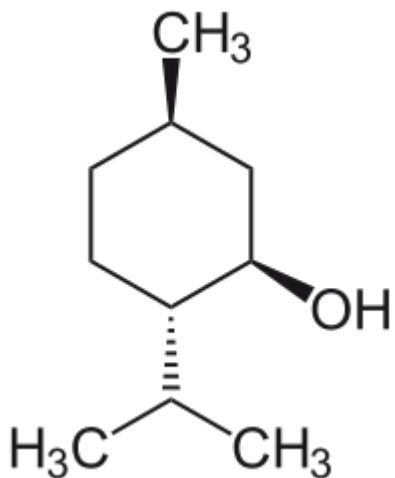
По числу изопреновых звеньев терпены подразделяют на:

- 1. монотерпены**, или собственно терпены $C_{10}H_{16}$ (часто только эти в-ва подразумевают под терпенами, напр. лимонен, мирцен);
- 2. сесквитерпены**, или полуторатерпены $C_{15}H_{24}$ (напр., бизаболен);
- 3. дитерпены** и их производные $C_{20}H_{32}$ (напр., смоляные кислоты - абиетиновая, левопимаровая и др.);
- 4. тритерпены** $C_{30}H_{48}$ (напр., нек-рые гормоны и стеринны-ланостерин, олеаяоловая к-та, сквален и т. д.);
- 5. политерпены** (см. Каучук натуральный).

Монотерпены с двойным циклом

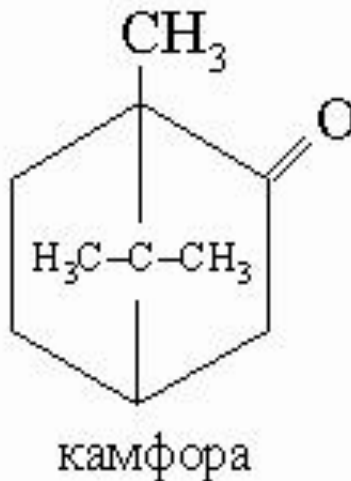


Ментол



Содержится в растениях семейства яснотковые, получают синтетически или выделяют из мятного эфирного масла.

Камфора



Камфора входит в состав многих эфирных масел. Особенно много её в масле камфорного лавра (*Cinnamomum camphora*), базилика, полыней, розмарина.

Жиры – смеси биоорганические веществ, нерастворимых в воде и твердых при комнатной температуре

Жиры как правило содержат:

1. триглицериды (98%);
2. моно-, диглицериды (1-3%);
3. фосфолипиды, гликолипиды и диольные липиды (0,5-3%);
4. своб. жирные к-ты, стерины и их эфиры (0,05-1,7%)
5. красящие в-ва (каротин, ксантофилл),
6. витамины А, D, Е и К, полифенолы и их эфиры

Классификация жиров

1. **Растительного происхождения** (какао, пальмовый, хлопковый, соевый и т.д.)
2. **Животного происхождения** (говяжий, бараний, свиной и т.д.)
3. **Микробного происхождения**



Масла – вещества или смеси веществ, нерастворимых в воде и жидких при комнатной T

- 1. Биоорганические масла** (липиды растительного происхождения (ТГ, эфирные масла))
- 2. Минеральные масла** (продукты нефтепереработки)
- 3. Синтетические масла** (полиальфаолефины, гликоли, алкибензолы, силиконы, сложные эфиры, их смеси и др. продукты)



Функции липидов

1. **Структурная**. Сложные липиды и холестерин амфифильны, образуют клеточные мембраны.
2. **Энергетическая**. В организме до 33% всей энергии АТФ образуется за счет окисления омыляемых липидов;
3. **Антиоксидантная**. Витамины А, Д, Е, К препятствуют СРО;
4. **Запасающая**. ТГ являются формой хранения жирных кислот и глицерина;
5. **Защитная**. ТГ, в составе жировой ткани, обеспечивают теплоизоляционную и механическую защиту тканей. Воска образуют защитную смазку на коже человека;
6. **Регуляторная**. **Фосфотидилинозитолы** являются внутриклеточными посредниками в действии гормонов (инозитолтрифосфатная система). Из **ПНЖК** образуются эйкозаноиды (лейкотриены, тромбоксаны, простагландины, простациклины), вещества, регулирующие иммуногенез, гемостаз, неспецифическую резистентность организма, воспалительные, аллергические, пролиферативные реакции. Из **холестерина** образуются стероидные гормоны: половые, кортикоиды, кальцитриол;
7. **Пищеварительная**. Из холестерина синтезируются желчные кислоты. Желчные кислоты, фосфолипиды, холестерин обеспечивают эмульгирование и всасывание липидов;
8. **Информационная**. Ганглиозиды обеспечивают межклеточные контакты.

Роль липидов в питании

Липиды пищи являются источником:

- **Жирных кислот** (источник энергии в аэробных условиях, строительный материал для синтеза липидов организма).
- **Незаменимых полиненасыщенных жирных кислот** – витамин F (синтез эйкозаноидов: простагландинов, простацклинов, лейкотриенов, тромбоксанов)
- **жирорастворимых витаминов А,Д,Е,К.**
- **глицерина** (источник энергии, строительный материал для синтеза глюкозы, липидов).
- **Фосфолипидов** (строительный материал для клеточных мембран)
- Других биологически важных липидов

Суточная потребность в липидах у взрослого человека

80 -100 г, из них:

- 25-30г растительного масла,
- 30-50г сливочного масла
- 20-30г др. жира животного происхождения.

Нормы суточной потребности в липидах у человека разного возраста

- до 3 мес. - 6,5 г/кг
- до 6 мес. - 6 г/кг,
- после 6 мес. – 5,5 г/кг,
- взрослым – 1,4 г/кг,
- пожилым – 0,5 г/кг.

Причины отличий в потребности липидов

1. Основным источником энергии для детей грудного возраста являются липиды, для взрослых людей - глюкоза.
2. Энергозатраты с возрастом снижаются.
3. Потребность в липидах увеличивается на холоде, при физических нагрузках, в период выздоровления и при беременности.

Содержание липидов в пищевых продуктах

| Группы | Низкое | Среднее | Высокое |
|--------|---|---------|--|
| Фрукты | Большинство фруктов Фруктовые соки | Оливы | Авокадо |
| Овощи | Все овощи Овощные соки и вегетарианские супы | | Овощи с жировыми заправками Жареные овощи |

| | | | |
|--------------------------------|--|---|--|
| Хлеб, другие зерновые продукты | Черный и белый хлеб Отварные макароны и крупяные каши без масла и молока Кукурузные, рисовые и другие хлопья | Молочные каши Булочки Печенье несдобное | Сдобные булочки и печенье Жаренные на жиру гренки Торты, пирожные |
| Молочные продукты | Обезжиренное молоко и кисломолочные продукты Обезжиренный творог Молочное мороженое | 1 или 2% молоко и кисломолочные продукты Творог полужирный Брынза Рассольные сыры (сулугуни, адыгейский) | Цельное молоко Твердые и плавленые сыры Жирный творог Сливки Сметана Пломбир, сливочное мороженое |

| | | | |
|-----------------------------|---|--|---|
| Мясо животных и птицы | Мясо птицы без кожи Тощая говядина | Мясо птицы с кожей Говядина и баранина с удаленным видимым жиром | Свинина Жареная говядина Жареная птица Колбасы, сосиски Ветчина, бекон Свиная тушенка |
| Рыба | Нежирные сорта рыбы (треска, ледяная, хек) | Некоторые сорта рыбы (лосось, сельдь) | Осетрина, сардины, палтус Консервы в масле |
| Блюда из яиц | Яичные белки | Цельное яйцо | Яичница |
| Бобовые | Фасоль, горох, бобы, чечевица | Соевые бобы | |

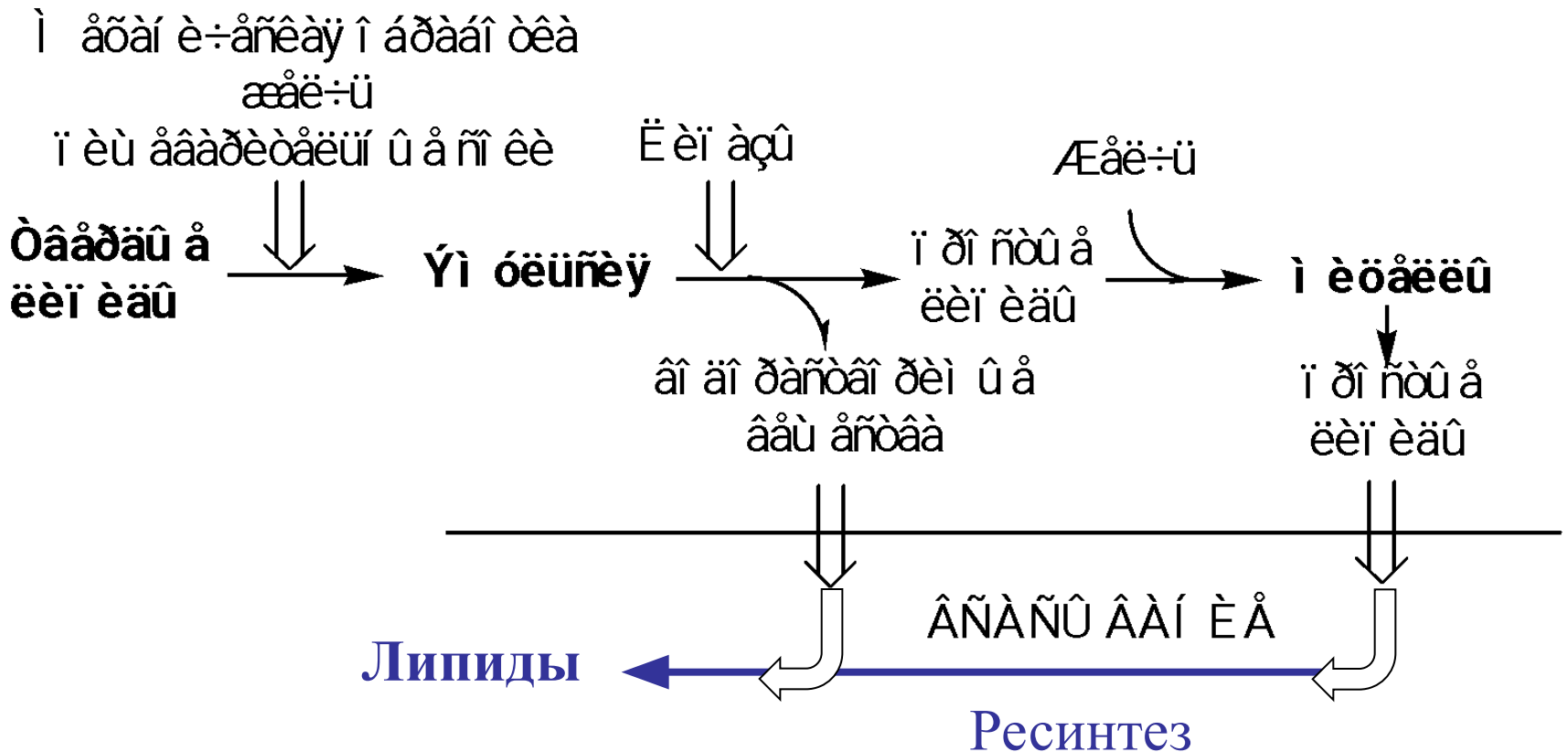
| | | | |
|--------------------------------------|---|--------------------|---|
| Орехи, семечки | | | Орехи, семечки |
| Жиры, масла и соусы | Кетчуп, уксус, горчица | Сметанные соусы | Все жиры и масла Майонез |
| Сладости, кондитерские изделия | Варенье, джемы Зефир, пастила | | Торты, пирожные Халва, вафли Шоколад |
| Напитки | Прохладитель ные напитки, кофе, чай | | Алкогольные напитки (жиры образуются из этанола в организме) |

Нарушение липидного питания

1. При недостаточном поступлении липидов с пищей снижается иммунитет, снижается продукция стероидных гормонов, нарушается половая функция.
2. При дефиците линолевой кислоты развивается тромбоз сосудов и увеличивается риск раковых заболеваний.
3. При избытке липидов в пище развивается атеросклероз и увеличивается риск рака молочной железы и толстой кишки.

Общий механизм переваривания и всасывания липидов

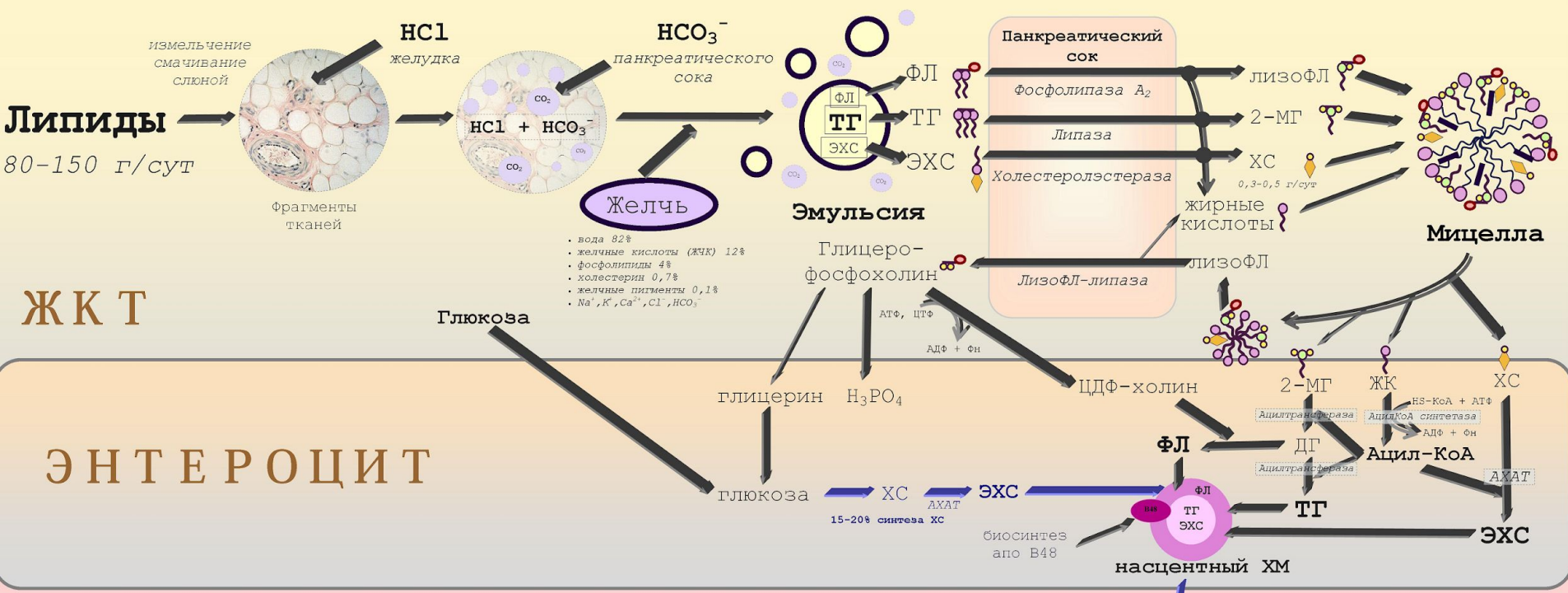
Лишь 40-50% пищевых липидов расщепляется, от 3% до 10% пищевых липидов всасываются в неизменном виде. Так как липиды не растворимы в воде, их переваривание и всасывание имеет свои особенности и протекает в несколько стадий:



Желчь вязкая жёлто-зелёная жидкость, рН=7,3-8.0

Содержание основных компонентов желчи человека

| Компоненты | Печеночная желчь | Пузырная желчь | Компоненты | Печеночная желчь | Пузырная желчь |
|-------------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|
| Вода, % | 97,4 | 86,65 | Ионы, ммоль/л: | | |
| Плотные вещества, %: | 2,6 | 13,35 | катионы: | | |
| желчнокислые соли | 1,03 | 9,14 | Na^+ | 145 | 130 |
| пигменты и муцин | 0,53 | 2,98 | K^+ | 5 | 9 |
| холестерин | 0,06 | 0,26 | Ca^{2+} | 2,5 | 6 |
| жирные кислоты и липиды | 0,14 | 0,32 | анионы: | | |
| неорганические соли | 0,84 | 0,65 | Cl^- | 100 | 75 |
| | | | ClO_3^- | 28 | 10 |



Ротовая полость

Лингвальная липаза (железа Эбнера), активна у грудных детей, рН 4,0-4,5, гидролиз ТГ (с ЖК короткой и средней цепью) молока в желудке

Желудок

Желудочная липаза, рН 5,5-7,5, гидролиз ТГ в эмульсии (молоко) у грудных детей

Тонкая кишка

Панкреатическая липаза, рН 8-9, гидролиз ТГ в эмульсии

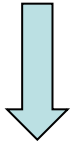
МГ-изомераза (панкреатическая)

Холестеролэстераза (панкреатическая, кишечная)

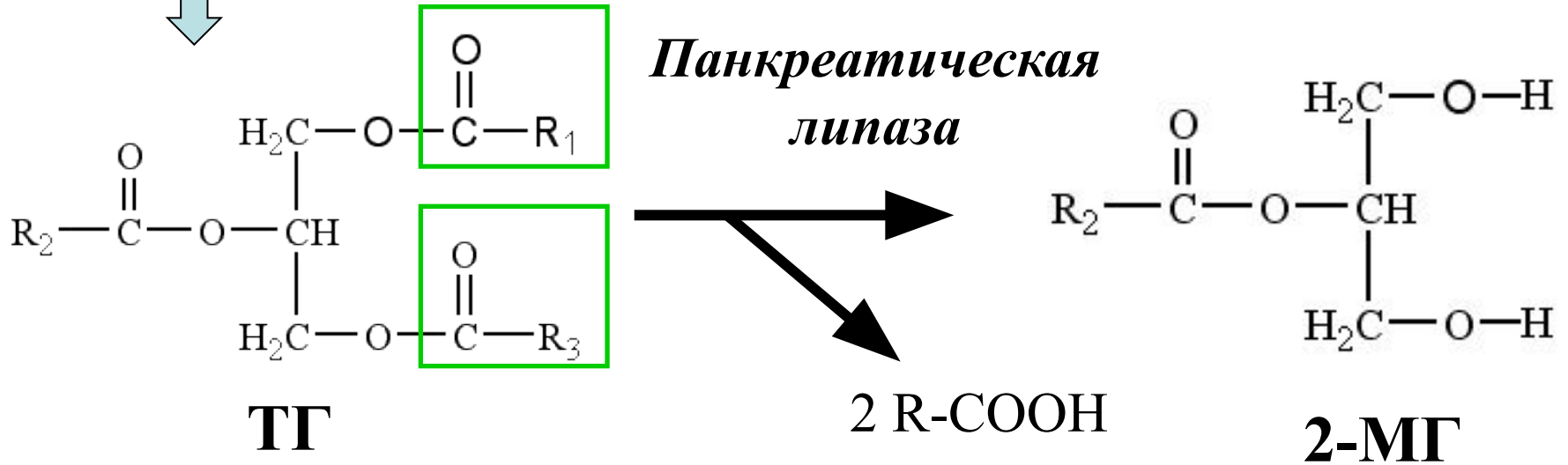
Фосфолипазы (панкреатические)

Гидролиз ТГ

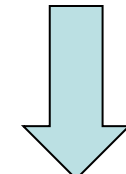
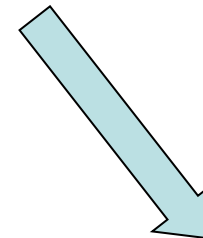
Пища



Активатор: желчная кислота +
колипаза (пептид из стенки)



Верхние отделы тонкой кишки

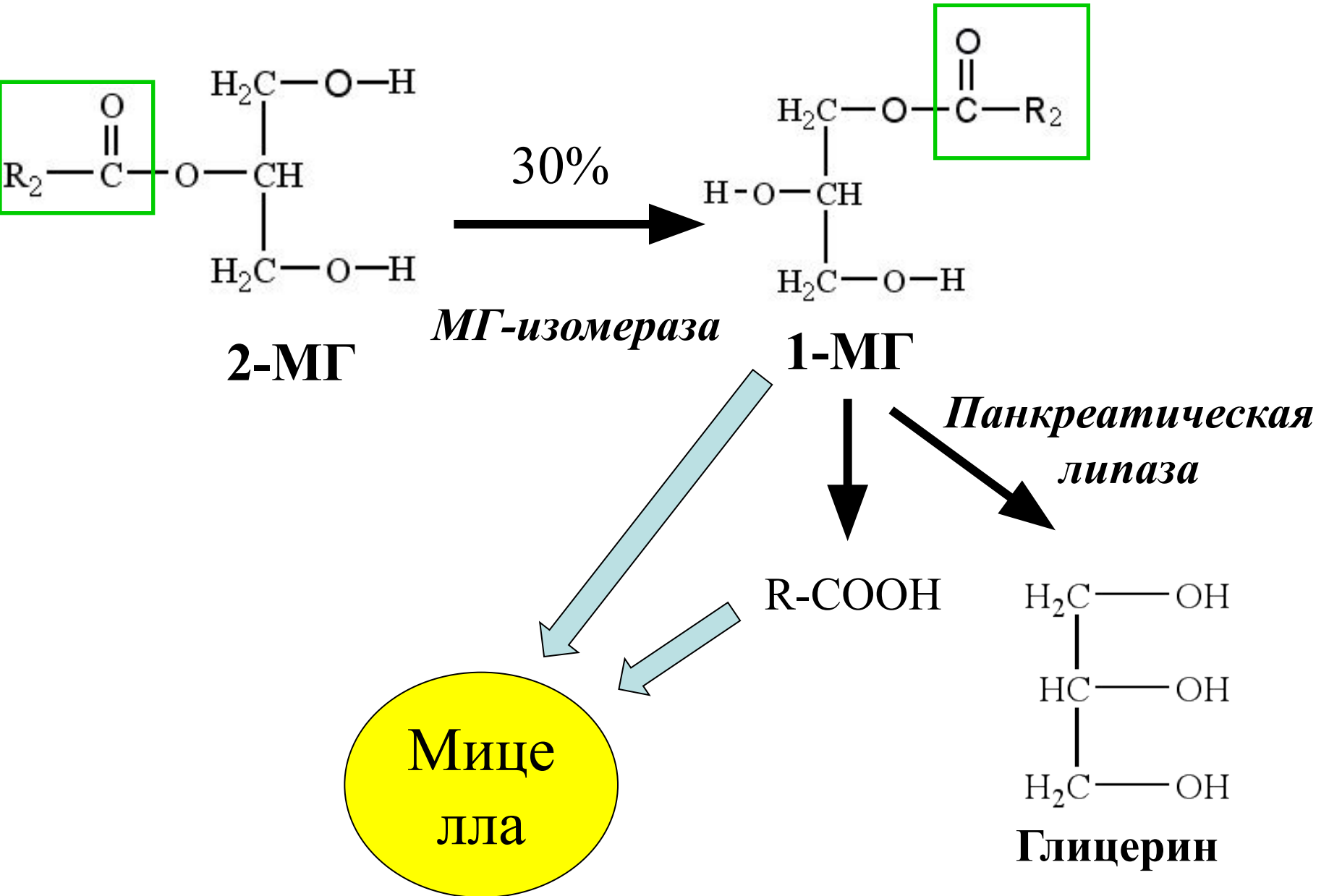


70%



Мицелла

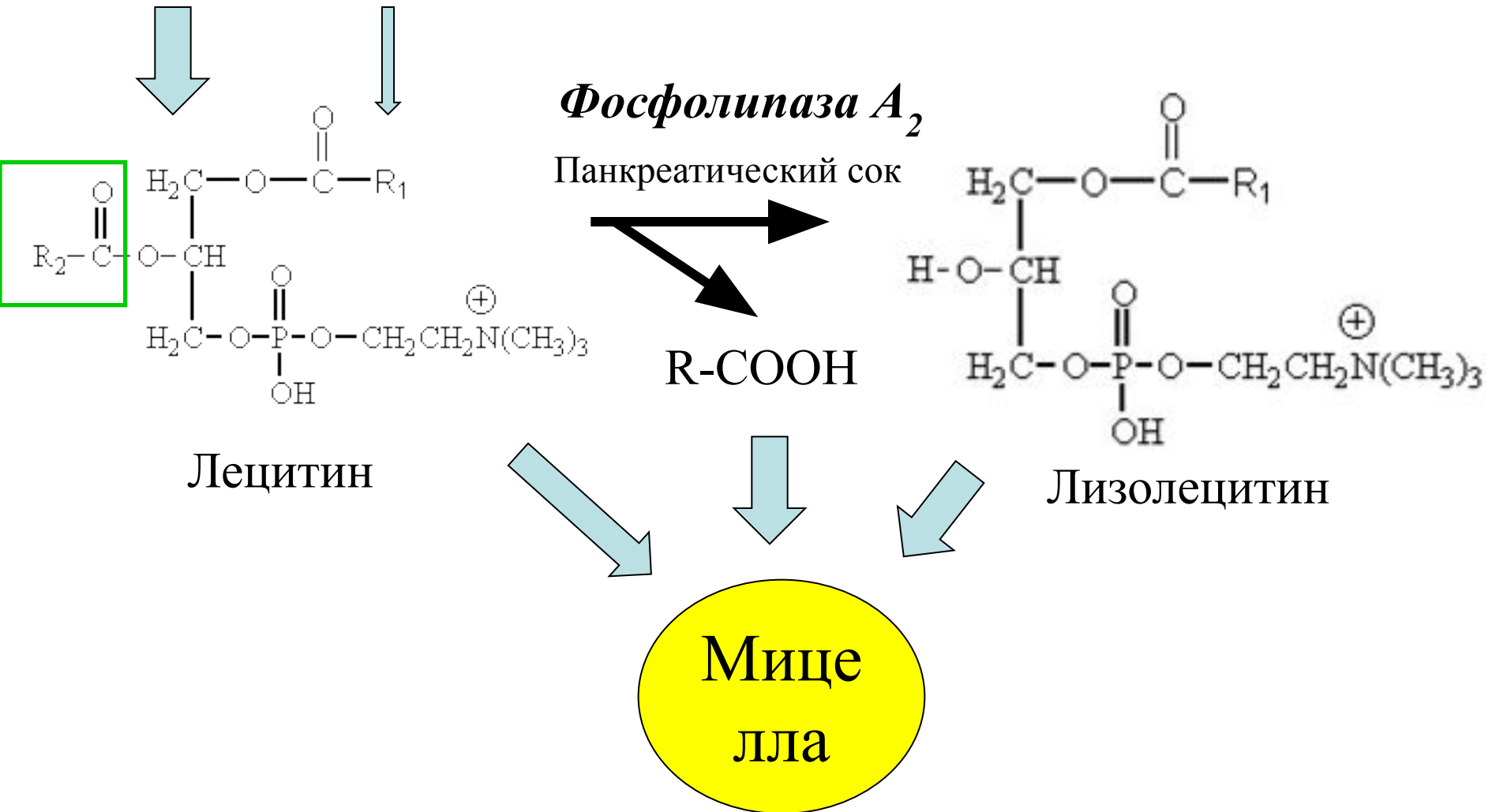
Гидролиз 2-МГ



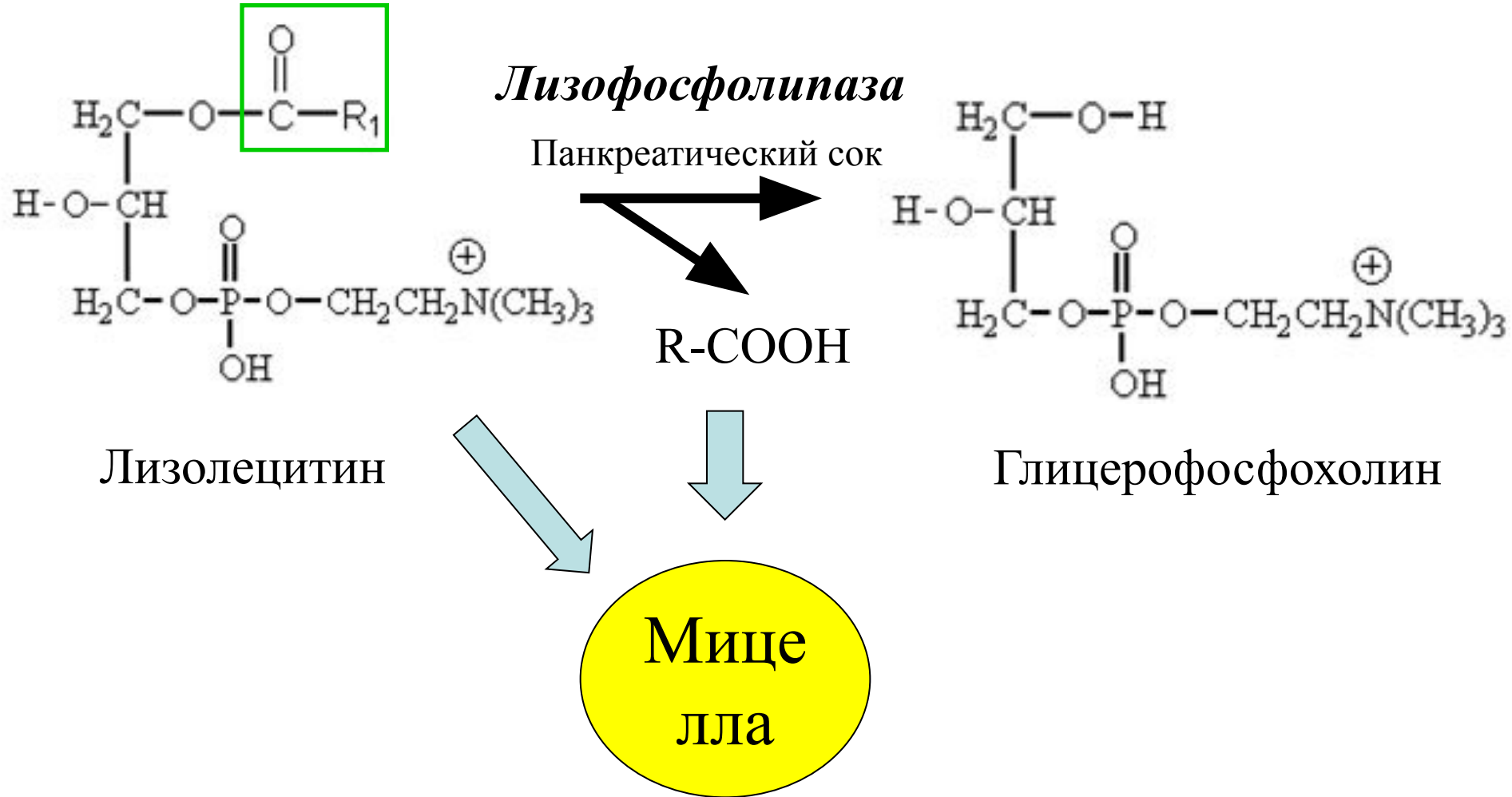
Гидролиз ФЛ

Желчь
11–12 г/сут

Пища
1–2 г/сут



Гидролиз лизоФЛ



Остальные фосфолипиды не гидролизуются

Гидролиз ЭХС

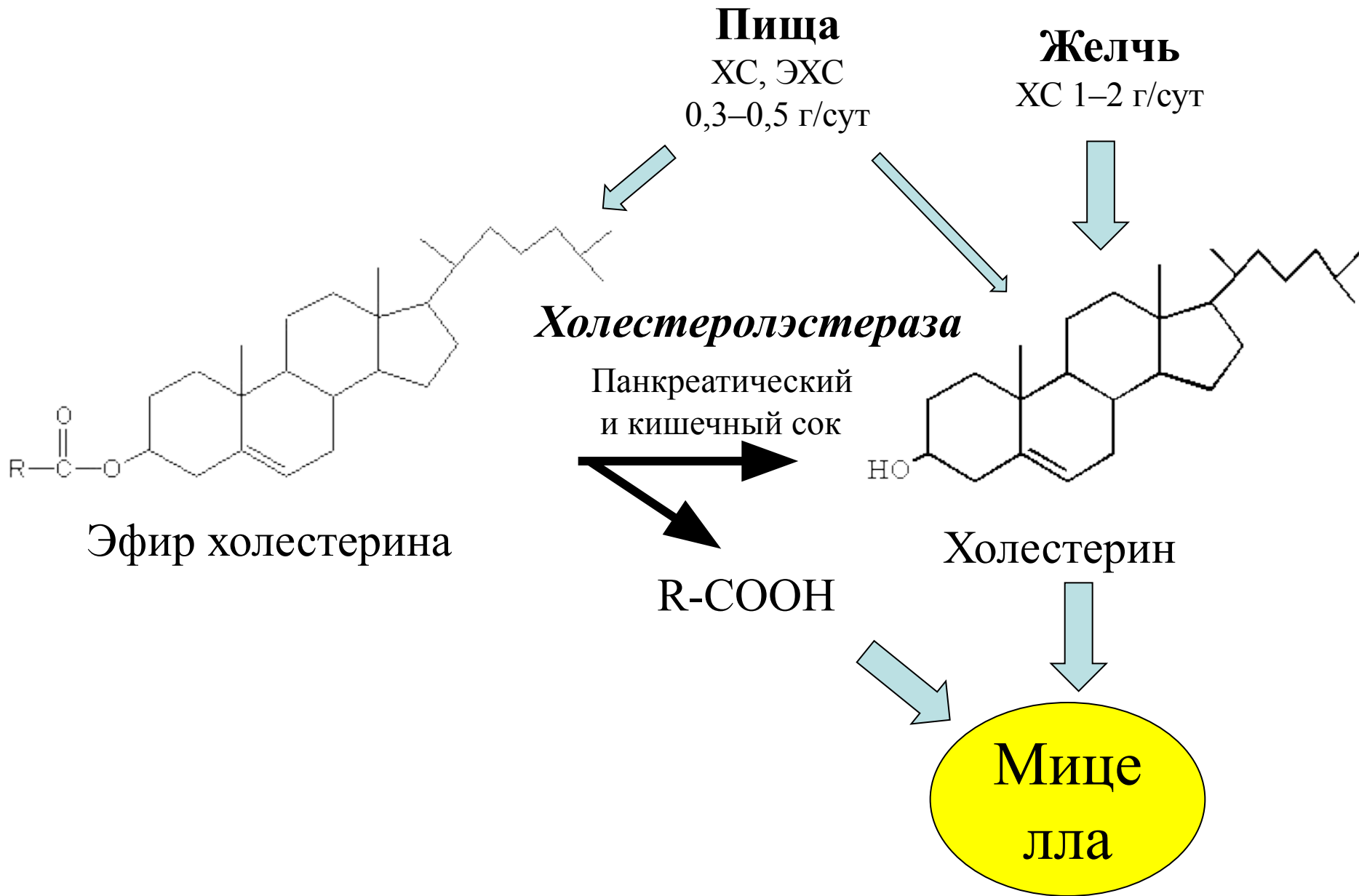
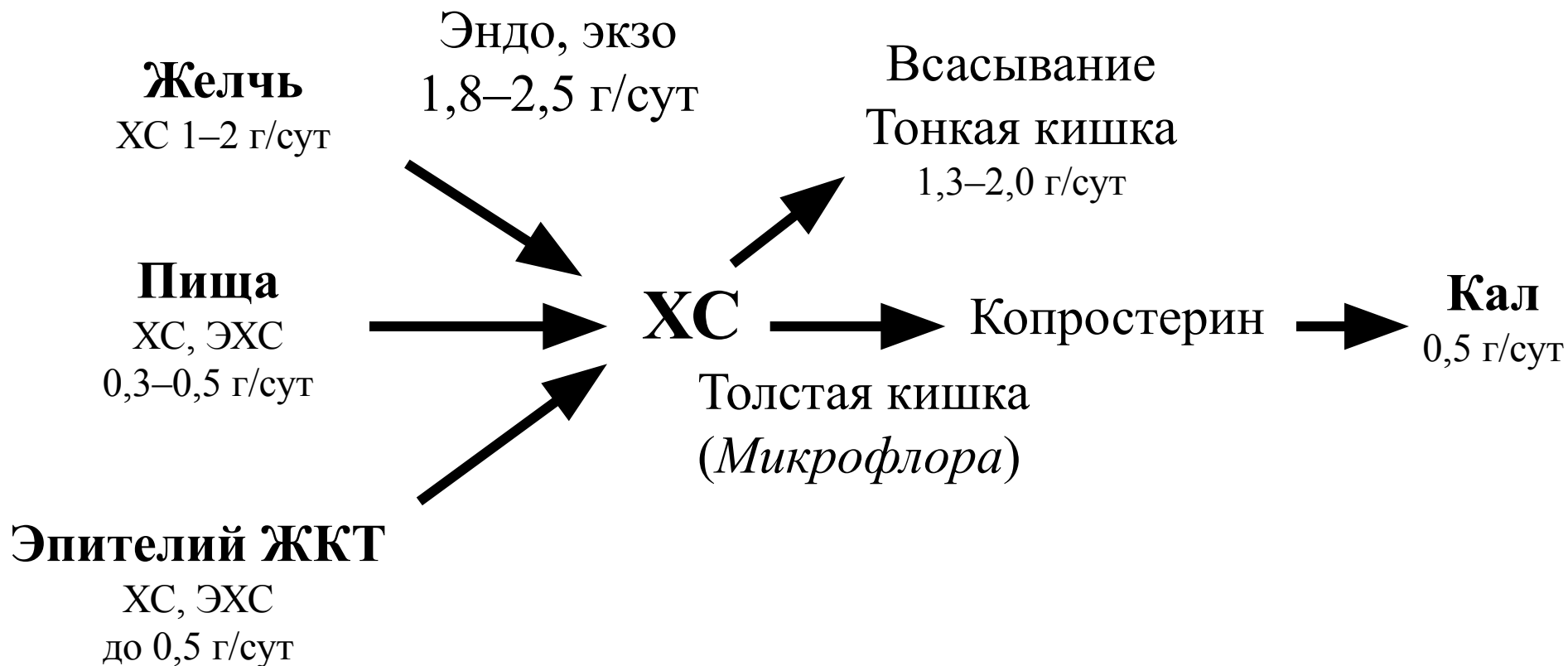
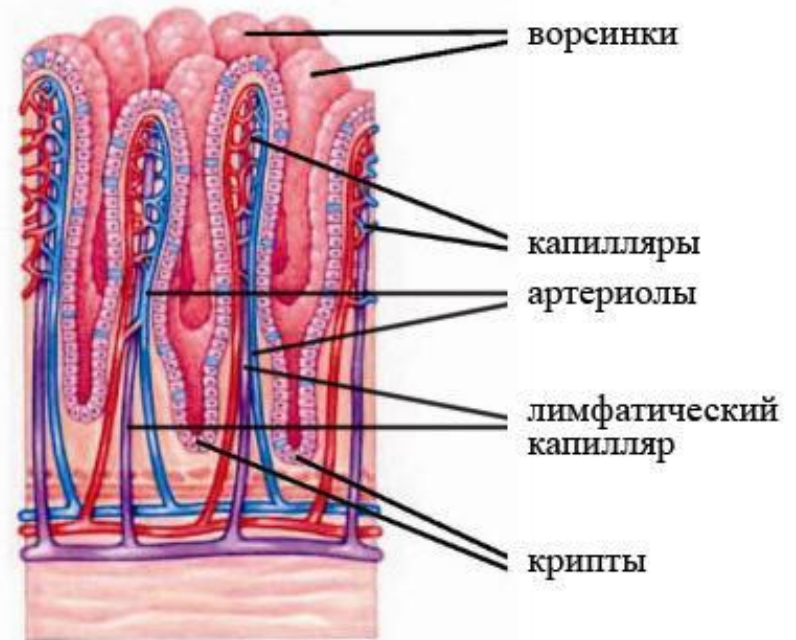


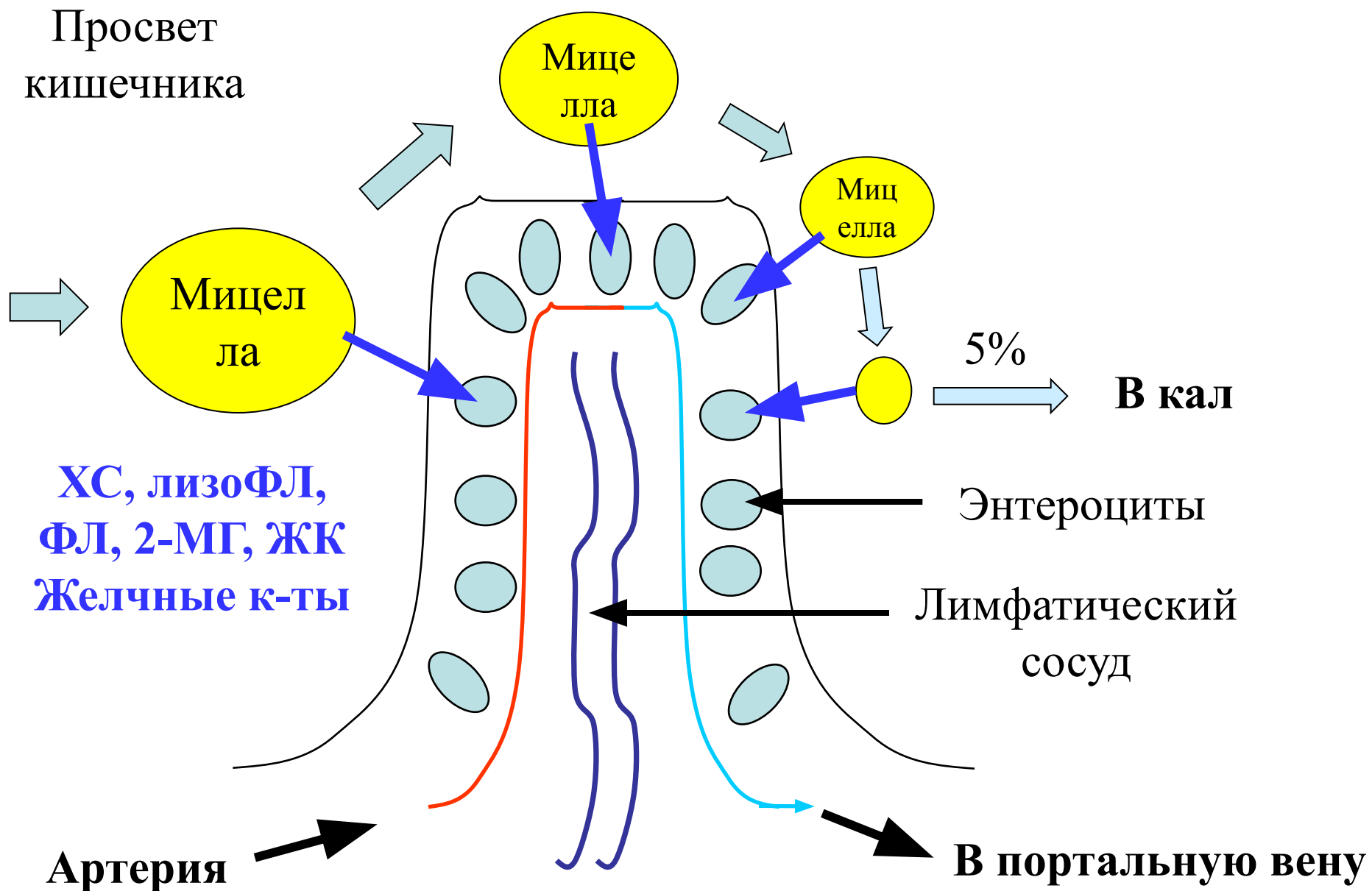
Схема обмена холестерина в ЖКТ



Ворсинки тонкой кишки

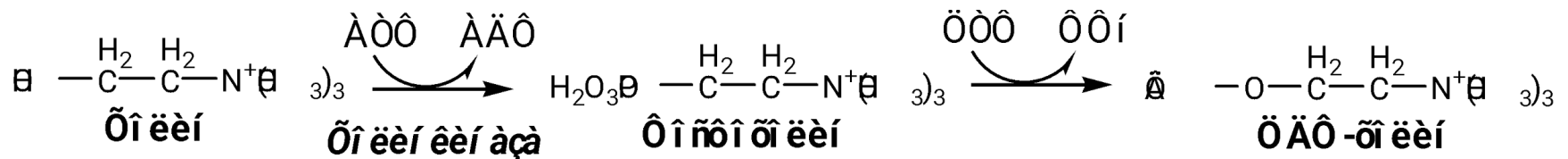


Всасывание липидов в тонкой кишке

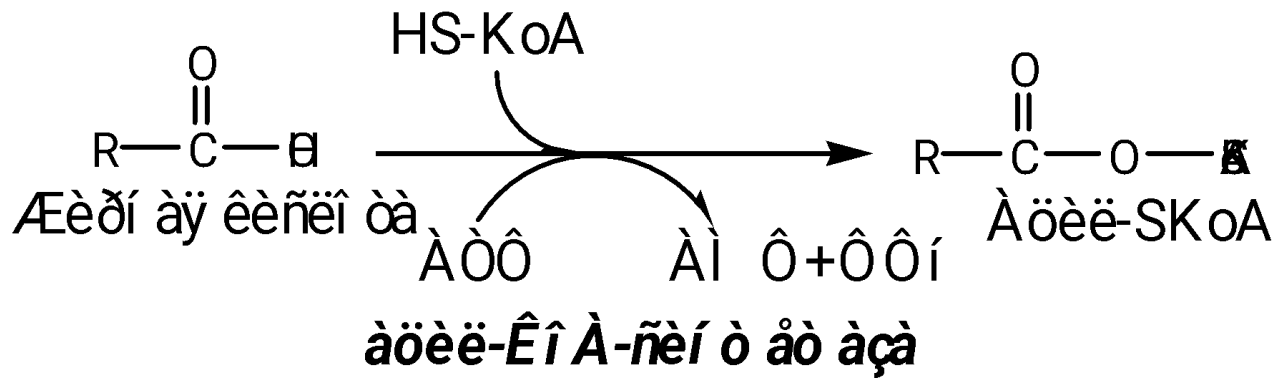


Всасывание водорастворимых продуктов гидролиза

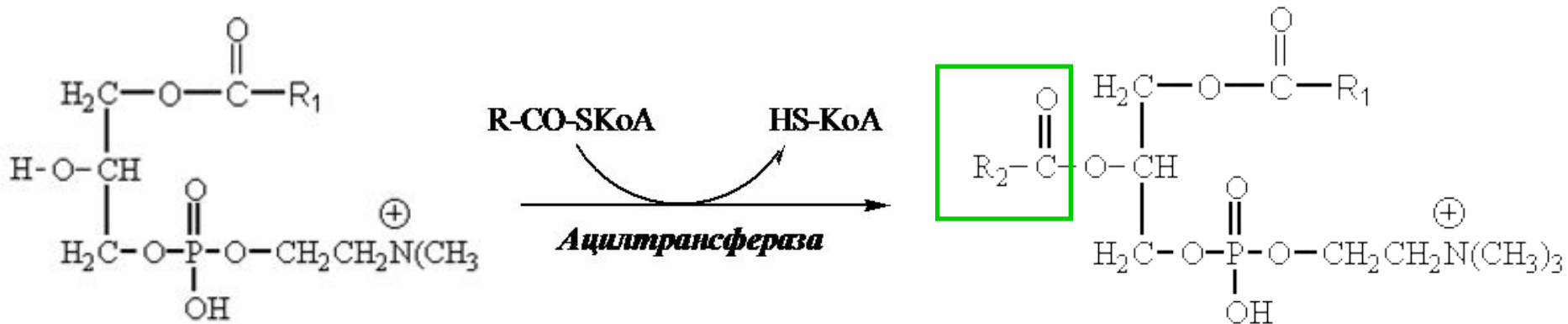
1. Идет в тонкой кишке без участия мицелл.
2. фосфорная кислота - в виде Na^+ и K^+ солей
3. глицерол - в свободном виде
4. Холин и этаноламин всасываются в виде ЦДФ производных



Ресинтез липидов в энтероците



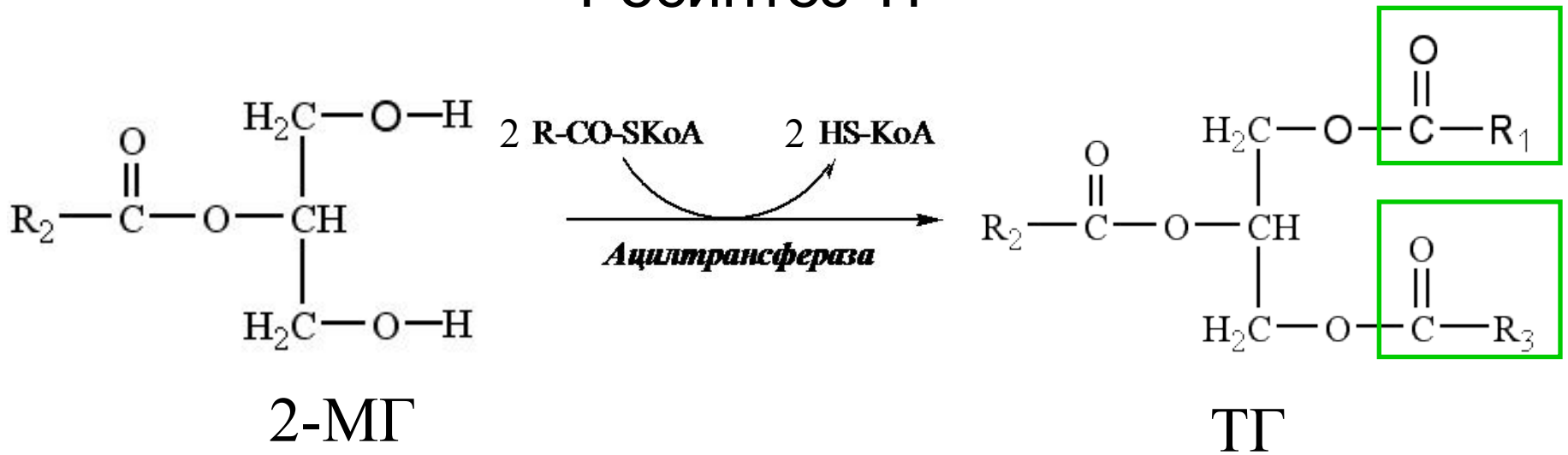
Ресинтез ФЛ



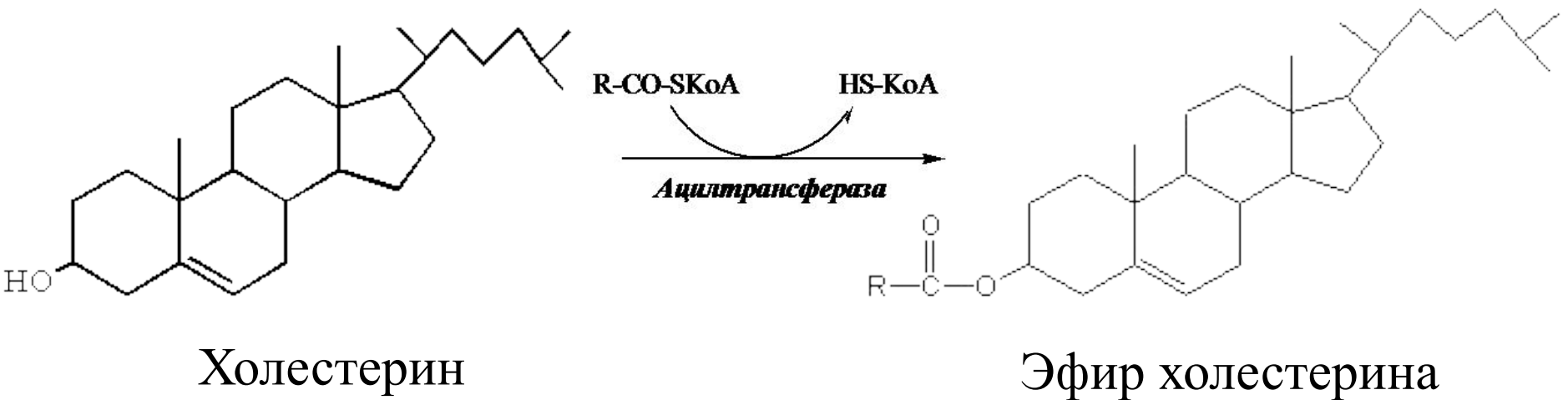
Лизолецитин

Лецитин

Ресинтез ТГ



Ресинтез ЭХС

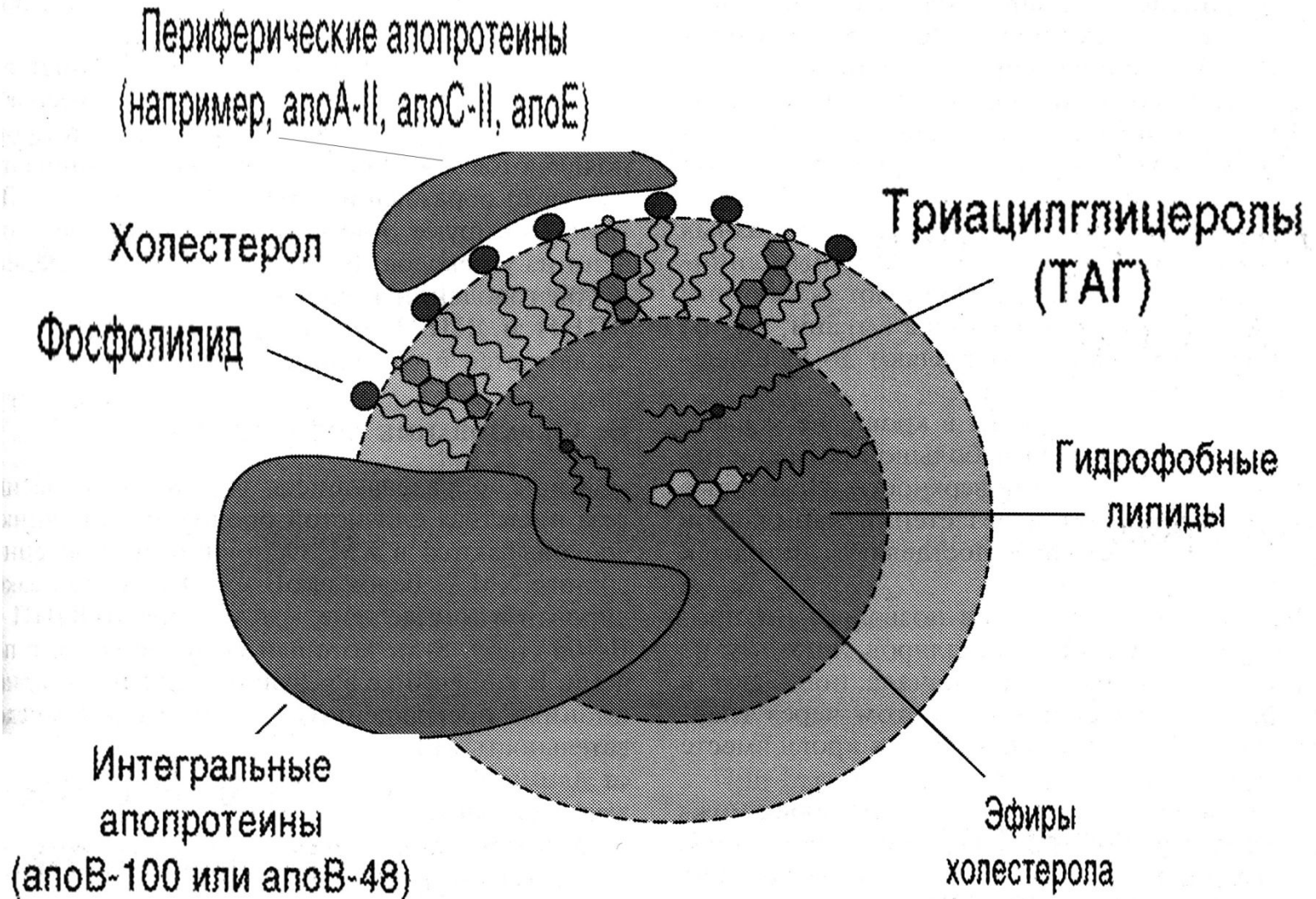


Транспорт липидов

Транспорт липидов в организме идет несколькими путями:

- 1) Липиды переносят в крови с помощью белков (жирные кислоты транспортируются альбуминами);
- 2) ТГ, ФЛ, ХС, ЭХС и д.р. липиды транспортируются в крови в составе липопротеинов.
- 3) в клетках липиды переносят специальные Z-белки

Строение ЛП



СОСТАВ, ФУНКЦИИ ЛП

| Состав, % | ХМ | ЛПОНП (пре-β-ЛП) | ЛППП | ЛПНП (β-ЛП) | ЛПВП (α-ЛП) |
|--------------------|-------------------------|---------------------------|------------------|-----------------|--|
| белки | 2 | 10 | | 22 | 50 |
| ФЛ | 3 | 18 | | 21 | 27 |
| ХС | 2 | 7 | | 8 | 4 |
| ЭХС | 3 | 10 | | 42 | 16 |
| ТГ | 85 | 55 | | 7 | 3 |
| Плот., г/мл | 0,92-0,98 | 0,96-1,00 | | 1,00-1,06 | 1,06-1,21 |
| Диаметр, нм | >120 | 30-100 | | 21-100 | 7-15 |
| Транспорт к тканям | экзогенных липидов пищи | эндогенных липидов печени | | ХС в ткани | избытка ХС из тканей. Донор апо А, С, Е |
| Место образования | энтероцит | гепатоцит | в крови из ЛПОНП | в крови из ЛППП | гепатоцит |
| апо | В-48, С-II, Е | В-100, С-II, Е | В-100, С-II, Е | В-100 | А-I С-II, Е, D |

Характеристика апобелков (апо)

| Апо | Функция | Место образования | Локализация |
|------------|---|--------------------------|-------------------------|
| А-I | Структурная, Активатор ЛХАТ, образование ЭХС | печень | ЛПВП |
| А-II | То же | Печень, энтероцит | ЛПВП, ХМ |
| В-48 | Структурная, синтез ЛП, рецепторная, фагоцитоз ЛП | энтероцит | ХМ |
| В-100 | То же | печень | ЛПОНП, ЛППП, ЛПНП |

| | | | | |
|-------|--|-----------|--------|---------------------------|
| С-I | Активатор образование ЭХС | ЛХАТ, | Печень | ЛПВП, ЛПОНП |
| С-II | Активатор стимулирует гидролиз ТГ в ЛП | ЛПЛ, | Печень | ЛПВП → ХМ, ЛПОНП |
| С-III | Ингибитор ЛПЛ, ингибирует гидролиз ТГ в ЛП | | Печень | ЛПВП → ХМ, ЛПОНП |
| D | Перенос холестерина (БПЭХ) | эфиров | Печень | ЛПВП |
| E | Рецепторная, ЛП | фагоцитоз | печень | ЛПВП → ХМ, ЛПОНП, ЛППП |

Рецепторы к липопротеинам (ЛП)

| Рецептор | Распознавание | Липопротеин | Ткань | Роль в обмене |
|---------------|------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Рецептор-Е | Апо-Е | ХМ ост. | Печень | Переносит пищевые липиды в печень |
| Рецептор-А1 | Апо- А1 | ЛПВП | Печень | Присоединение ЛПВП к клеткам |
| Рецептор ЛПНП | Апо-В-100, апо-Е | ЛПНП, ЛППП | Печень, многие др. ткани | перенос ХС из печени в ткани |

- **Рецептор ЛПНП** — сложный белок, состоящий из 5 доменов и углеводной части.
- взаимодействует с белками apo B-100 и apo E, связывает ЛПНП, ЛППП, ЛПОНП, остаточные ХМ.
- на одном фибробласте имеется 20 000 - 50 000 рецепторов.

Ферменты транспорта липидов

1. Липопротеинлипаза (ЛПЛ) связана с гепарансульфатом на поверхности эндотелиальных клеток капилляров.

ЛПЛ гидролизует ТГ в составе ЛП до глицерина и жирных кислот.

При потере ТГ ХМ-ы превращаются в остаточные ХМ, а ЛПОНП повышают свою плотность до ЛППП и ЛПНП.

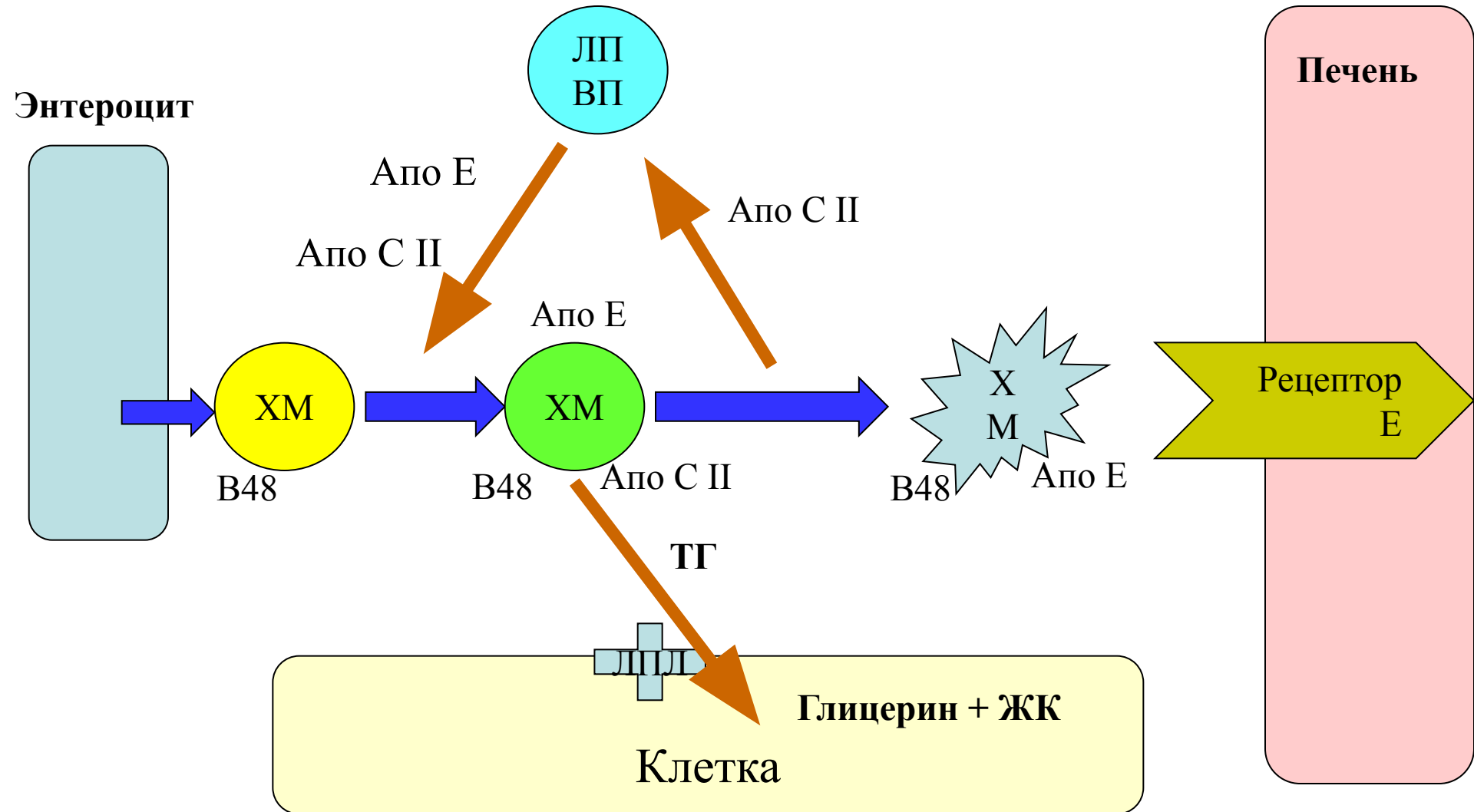
2. Лецитин: холестерол-ацил-трансфераза (ЛХАТ)

- находится в ЛПВП, переносит ацил с лецитина на ХС с образованием ЭХС и лизолецитина. Ее активируют апо А-I, А-II и С-I.
- лецитин + ХС \rightarrow лизолецитин + ЭХС
- ЭХС погружается в ядро ЛПВП или переносится с участием апо D на другие ЛП.

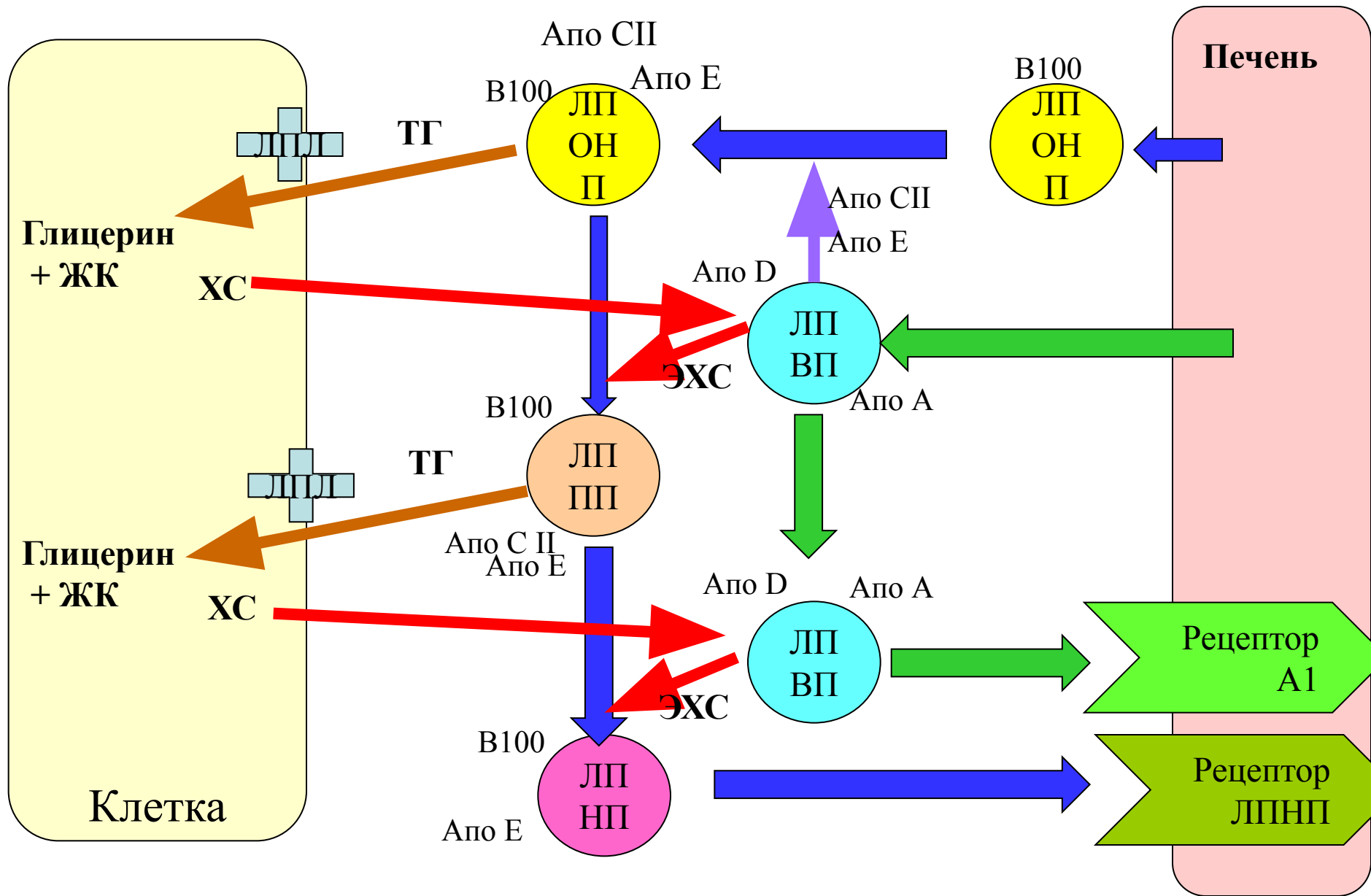
3. Печёночная липаза

- находится на поверхности гепатоцитов, она гидролизует ТГ в ЛППП и не действует на зрелые ХМ.

Обмен ХМ



Обмен ЛПОНП, ЛППП, ЛПНП



Спасибо за внимание!