

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

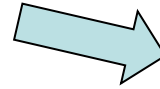
К неполярным растворителям относятся:

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

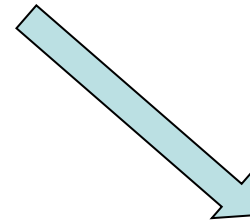
1. Стероиды (холестерин, стероидные гормоны, желчные кислоты);
2. витамины А, Д, Е, К;
3. терпены

Омыляемые (сложные эфиры)



Простые (спирт + ЖК)

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



Сложные (спирт + ЖК + вещества)

1. Фосфолипиды

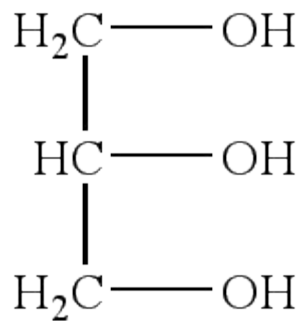
- А. Фосфоглицеролипиды
- Б. Сфингомиелины

2. Гликолипиды

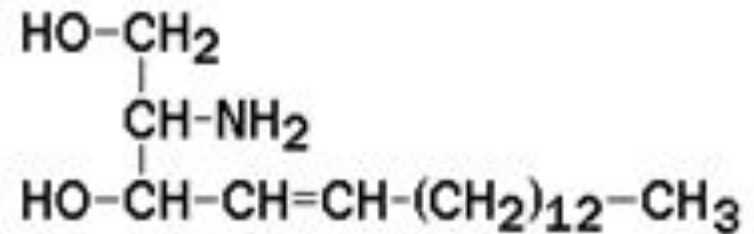
- А. Цереброзиды
- Б. Ганглиозиды

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).

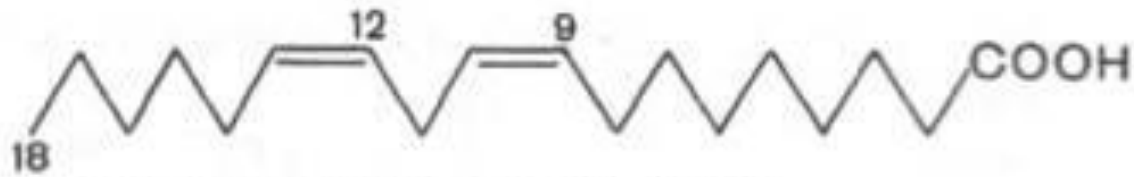
Особенности строения:

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.



Линолевая кислота (18:2, $\Delta^{9,12}$)



α -Линолевая кислота (18:3, $\Delta^{9,12,15}$)

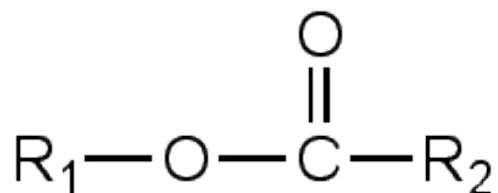


Арахидоновая кислота (20:4, $\Delta^{5,8,11,14}$)

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

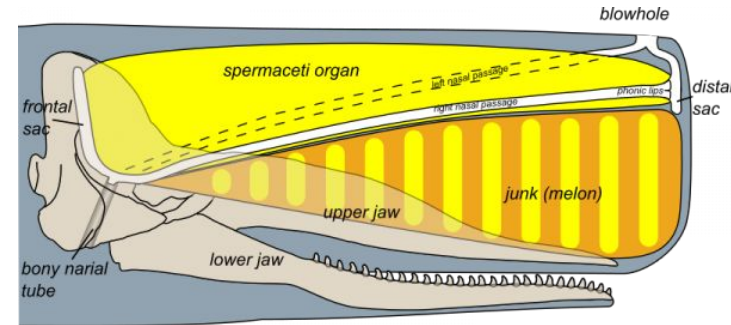
1. Растительные воска (сахарного тростника, карнаубский и т. д.)
2. Животные воска (пчелиный, шерстяной, ланолин, спермацет и т.д.)
3. Ископаемые воска (торфяной, буроугольный и т.д)



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

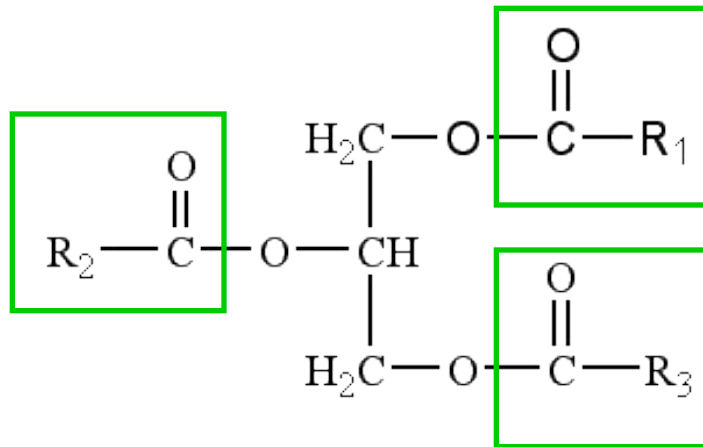


Хвойные

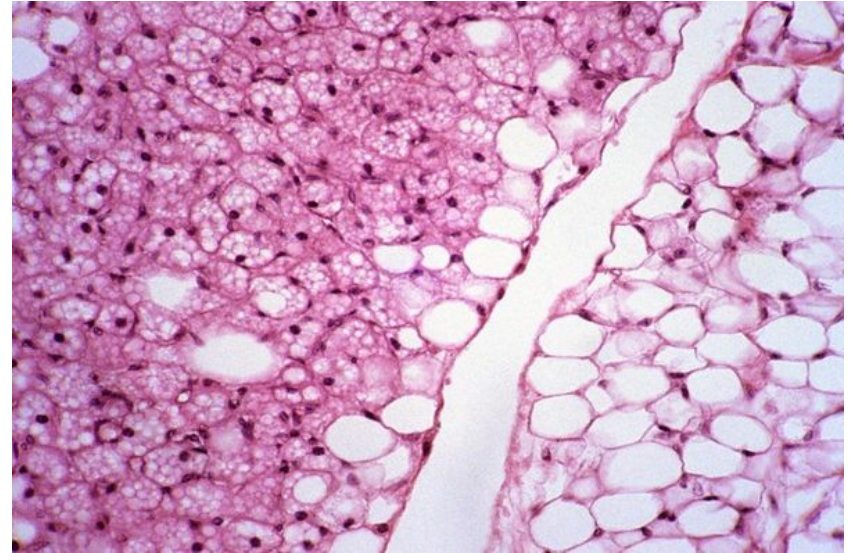


Кожа человека

2. Триглицериды – сложные эфиры глицерина и карбоновых кислот



Триглицериды



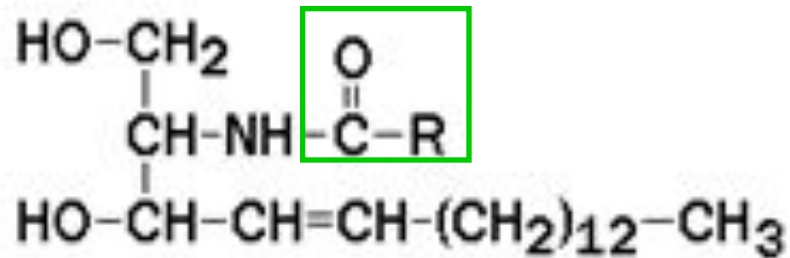
Бурая жировая
ткань

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

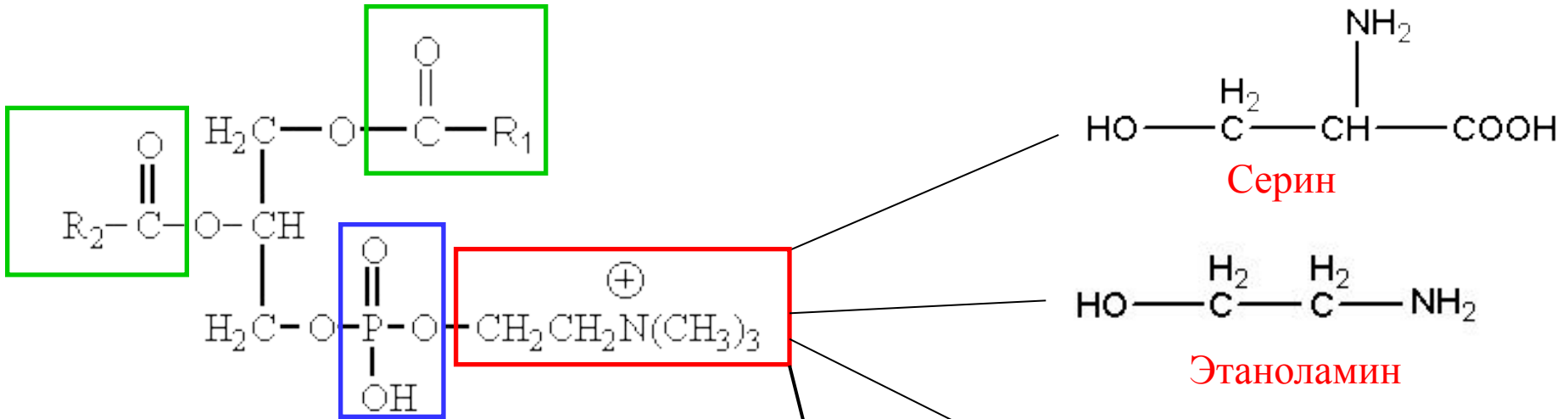
Фосфолипиды формируют:

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)

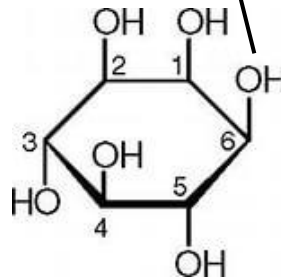
А. Фосфолипиды



Фосфатидил**ХОЛИН**
(лецитин)

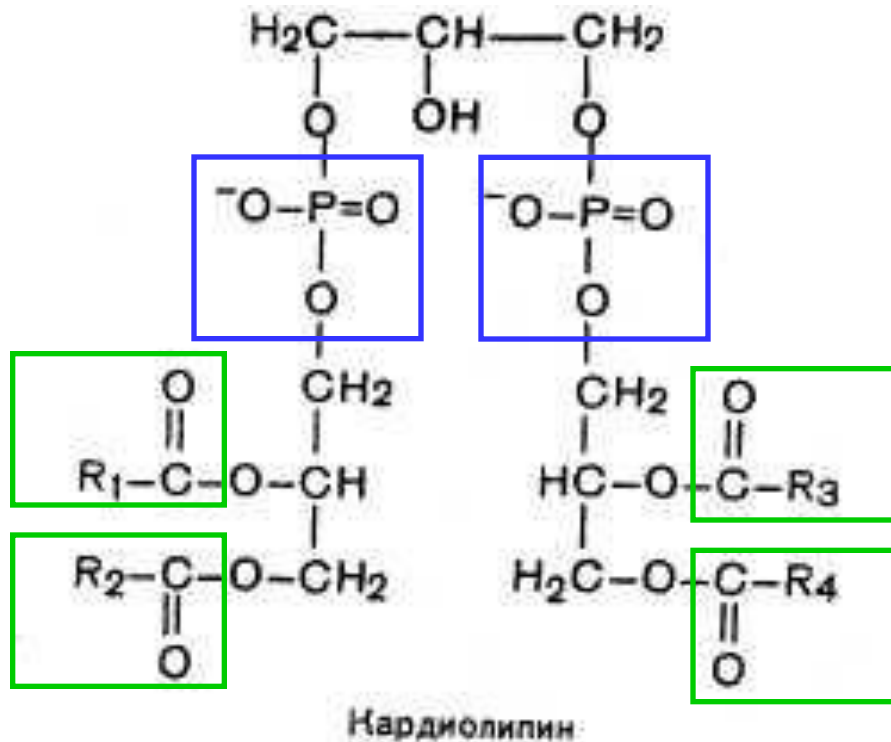
Состав:

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



ИНОЗИТОЛ (Раньше являлся витамином В₈)

Кардиолипин

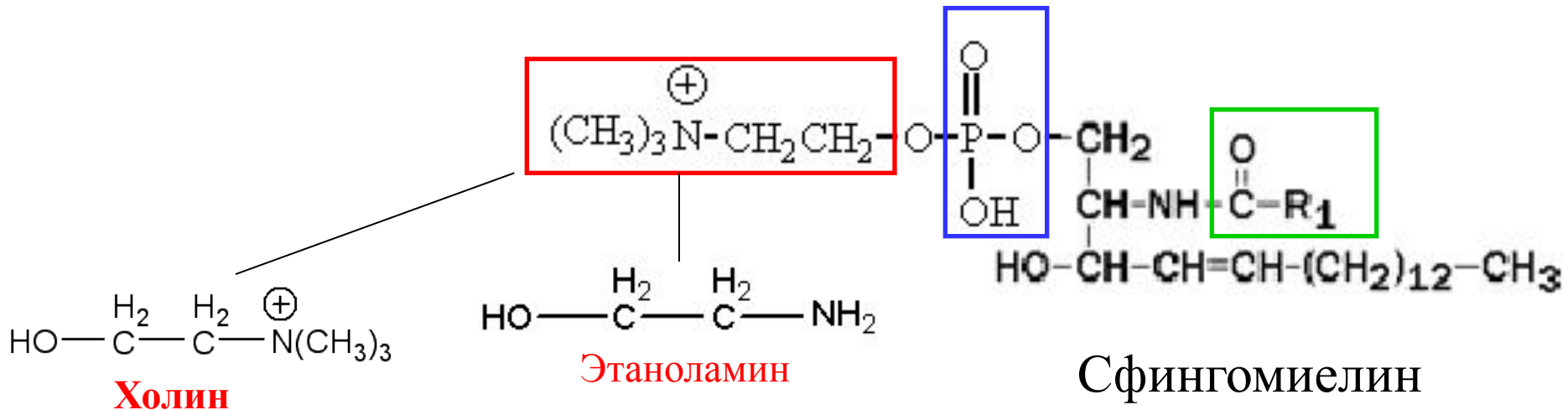


Находится, главным образом, во внутренней мембране митохондрий и в небольшом количестве в сурфактанте лёгких.

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

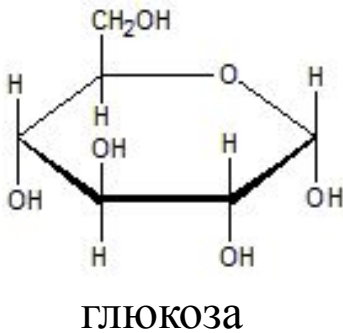
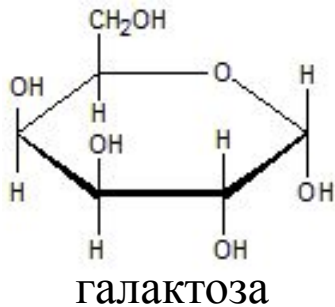


- Состав:**
1. спирт сфингозин;
 2. 1 жирная кислота;
 3. фосфорная кислота;
 4. другие вещества (холин, этаноламин)

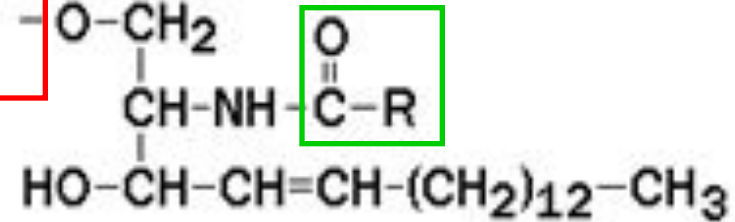
- Образуют наружный слой клеточных мембран животных и растительных клеток,
- много в нервной ткани (образует миелиновые оболочки. Содержат ЖК с длинной цепью: лигноцериновую (24:0) и нервоновую (24:1) кислоты)
- компонент сурфактанта (<1/4 лецитина).

2. Гликолипиды

А. Цереброзиды



галактоза



Галактоцереброзид

Состав:

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

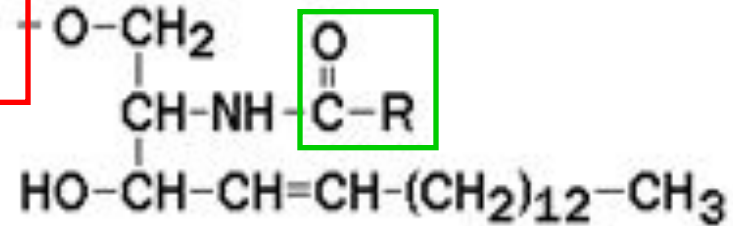
- *Галактоцереброзид* - главный липид миелиновых оболочек;
- *Глюкоцереброзид* входит в состав мембран многих клеток и служит предшественником в синтезе более сложных гликолипидов.

Б. Ганглиозиды

гал-глк-

(лактозилцерамид)

олигосахарид



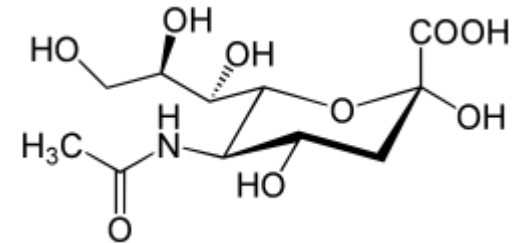
Ганглиозид

Нацетил-гал-гал-гал-глк-
(Глобозид, P-антиген)

Нацетил-гал-гал-глк-



(Ганглиозид GM₂)



N-Ацетилнейраминная кислота –
представитель сиаловых кислот

Состав:

1. спирт сфингозин;
2. 1 жирная кислота;
3. олигосахарид (компоненты: галактоза, N-ацетил галактоза, глюкоза, сиаловые кислоты)

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:

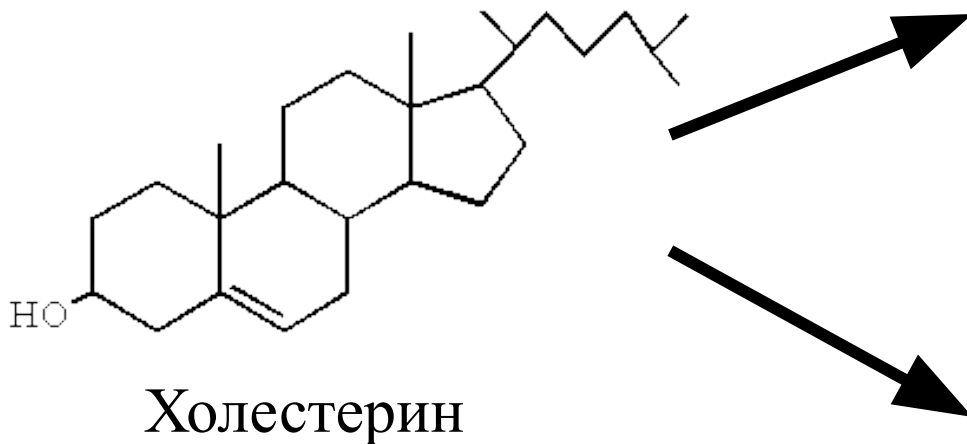
- активности протеинкиназ;
- активности рецептора фактора роста;
- антипролиферативного действия (апоптоза, клеточного цикла).

Обеспечение:

- структурной жёсткости мембран;
- конформации белков мембран.

Неомыляемые липиды

1. Стероиды



А. Стероидные гормоны

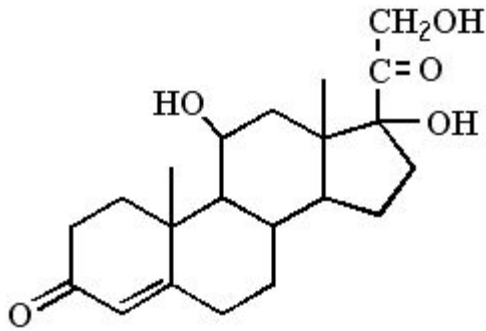
- Половые
- Кортикоиды (глюко-, минералокортикоиды)
- Кальцитриол

Б. Желчные кислоты

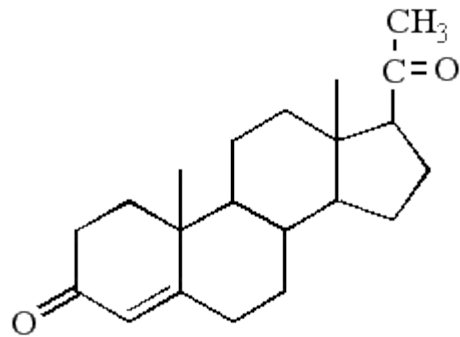
- Гликохолиевые
- таурохолиевые

А. Стероидные гормоны

Кортикоиды

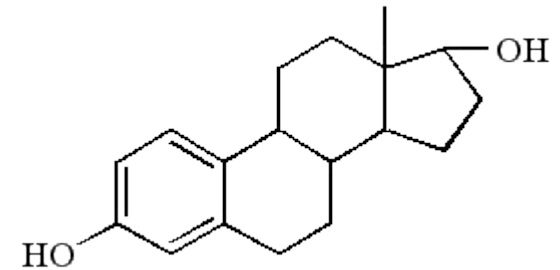


Кортизол

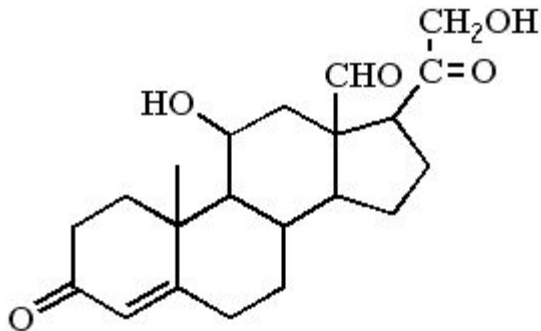


Прогестерон

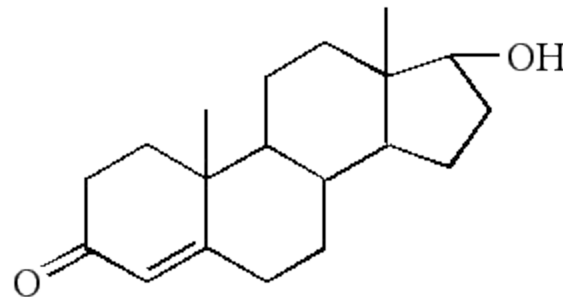
Половые



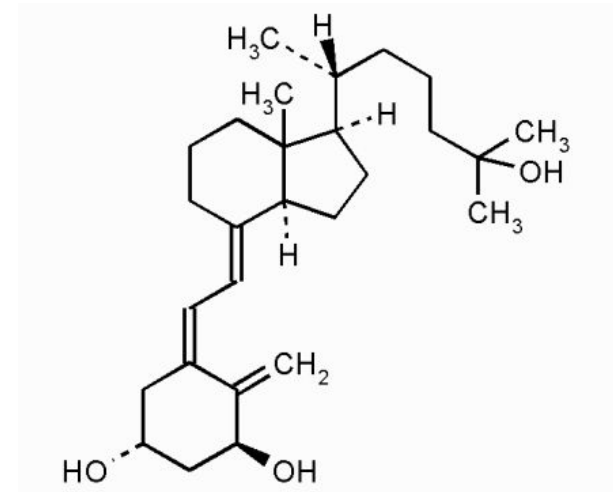
Эстрадиол



Альдостерон



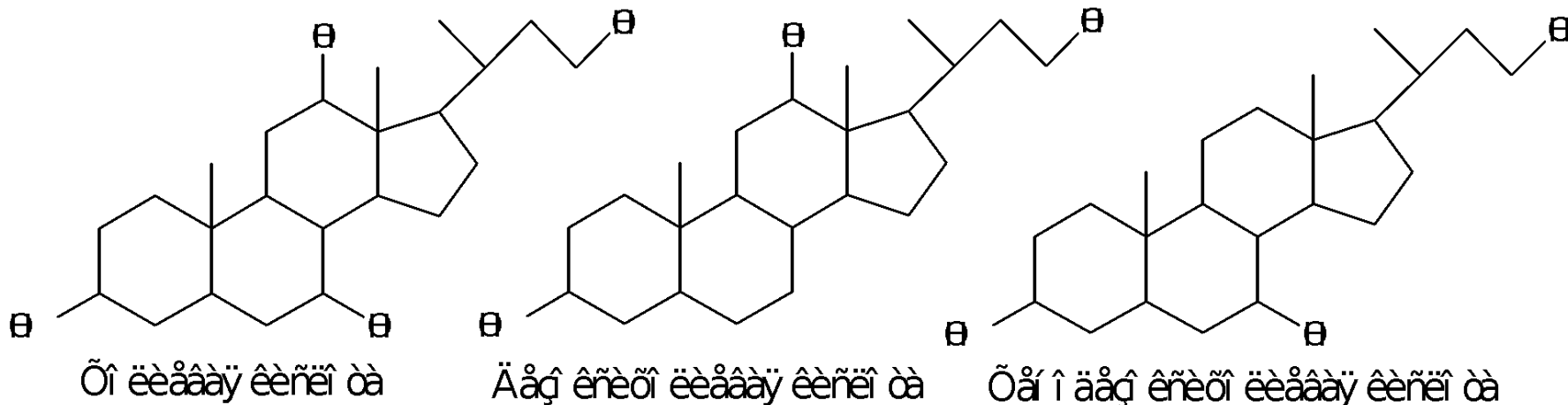
Тестостерон



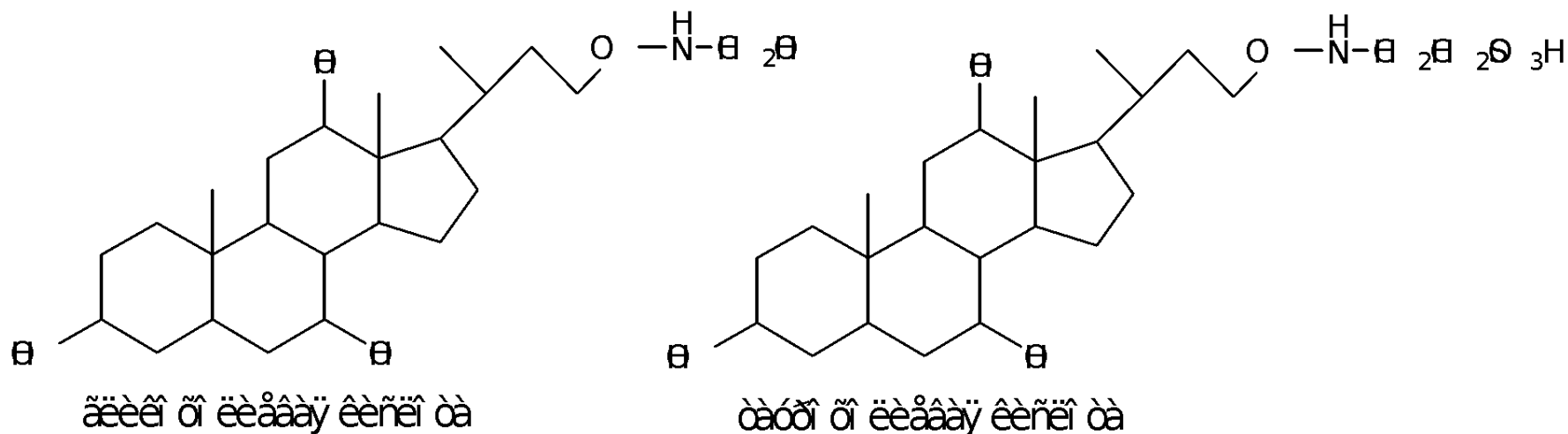
Кальцитриол

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.

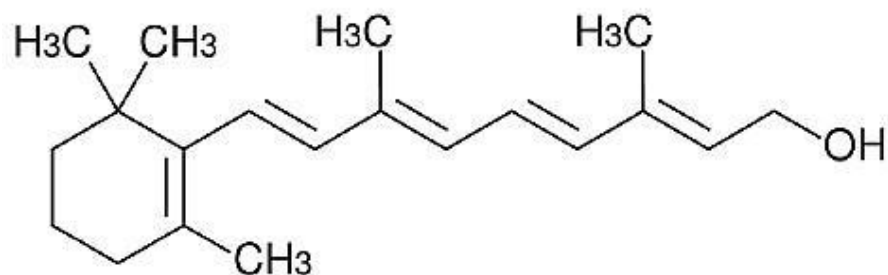


Секреция 2,8 – 3,5 г/сут

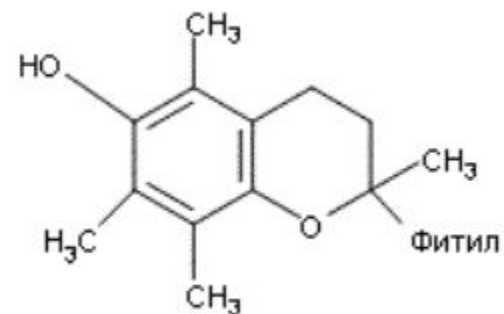
БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ:

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

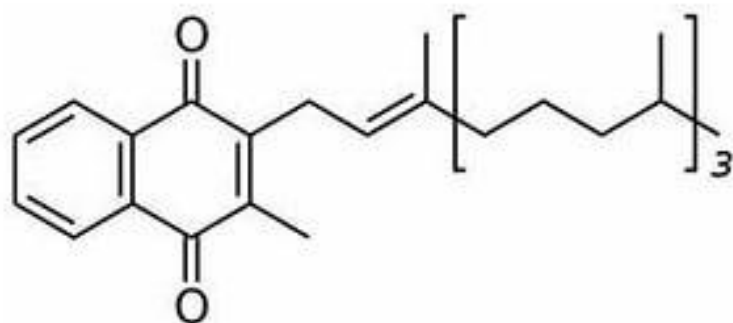
2. Жирорастворимые витамины



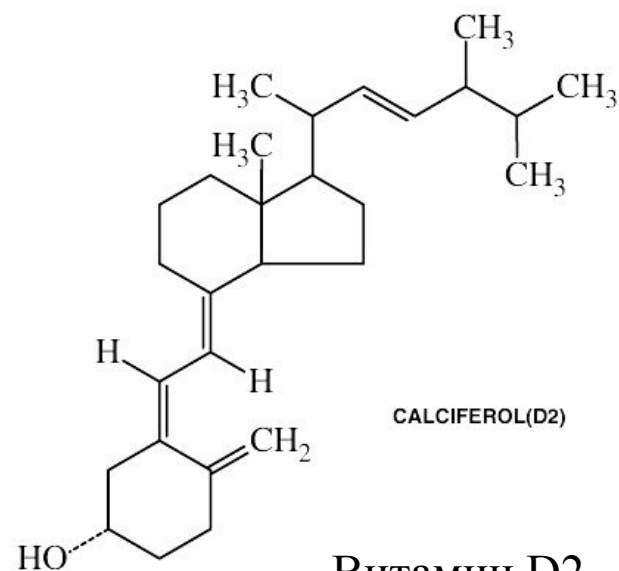
Витамин А



Витамин Е



Витамин К



Витамин D2

3. Терпены

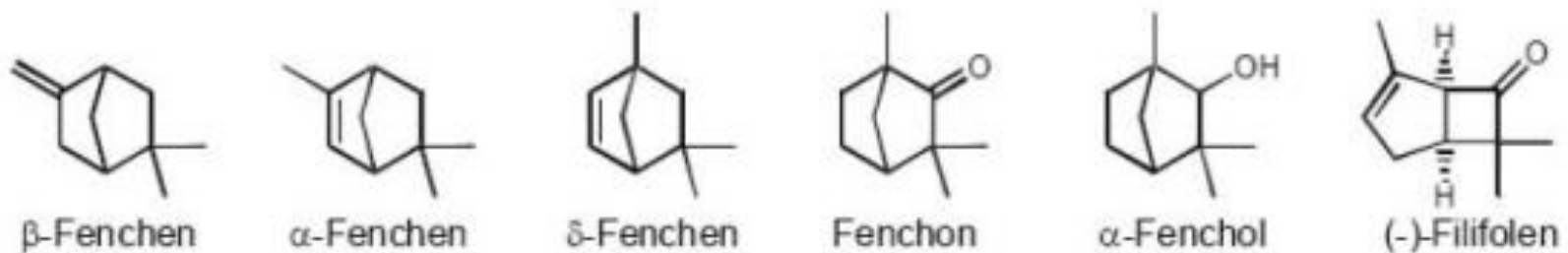
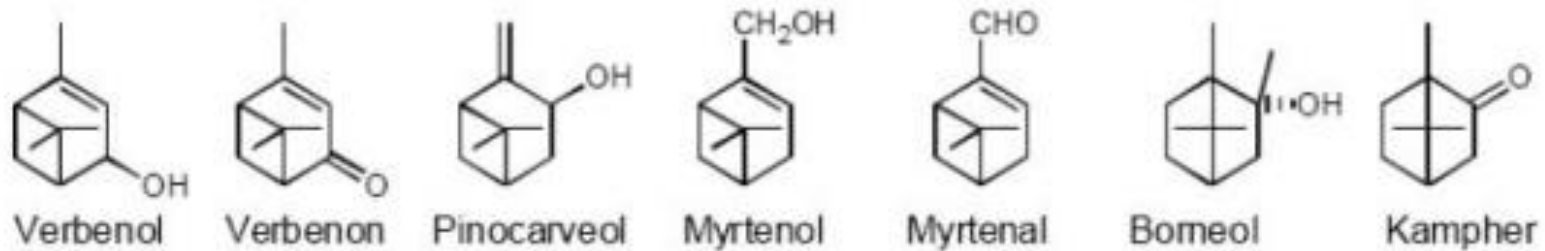
ТЕРПЕНЫ, группа преим. ненасыщенных углеводородов состава $(C_5H_8)_n$, где $n > 2$; широко распространены в природе (гл. образом в растительных, реже в животных организмах).

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

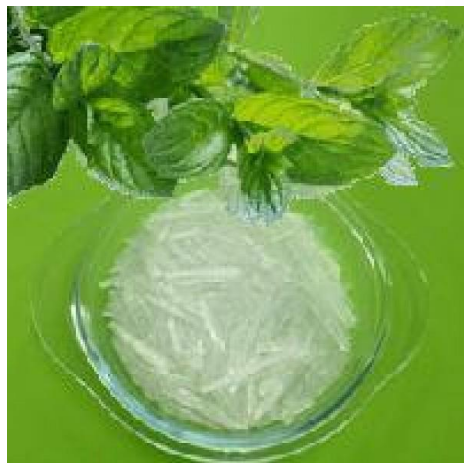
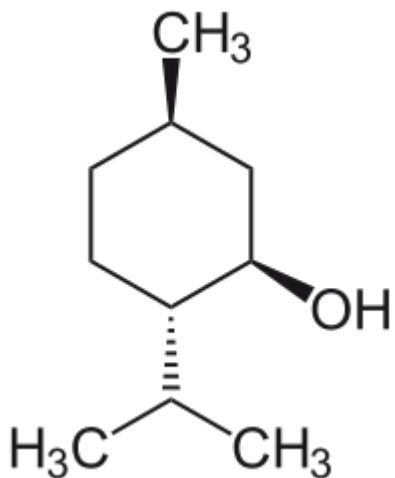
По числу изопреновых звеньев терпены подразделяют на:

- 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 стерины-ланостерин, олеаяоловая к-та, сквален и т. д.);
- 5. политерпены** (см. Каучук натуральный).

Монотерпены с двойным циклом

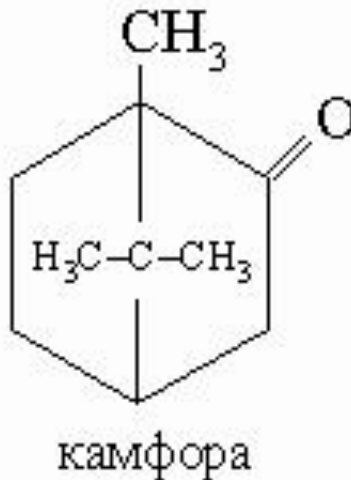


Ментол



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, простациклинов, 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	

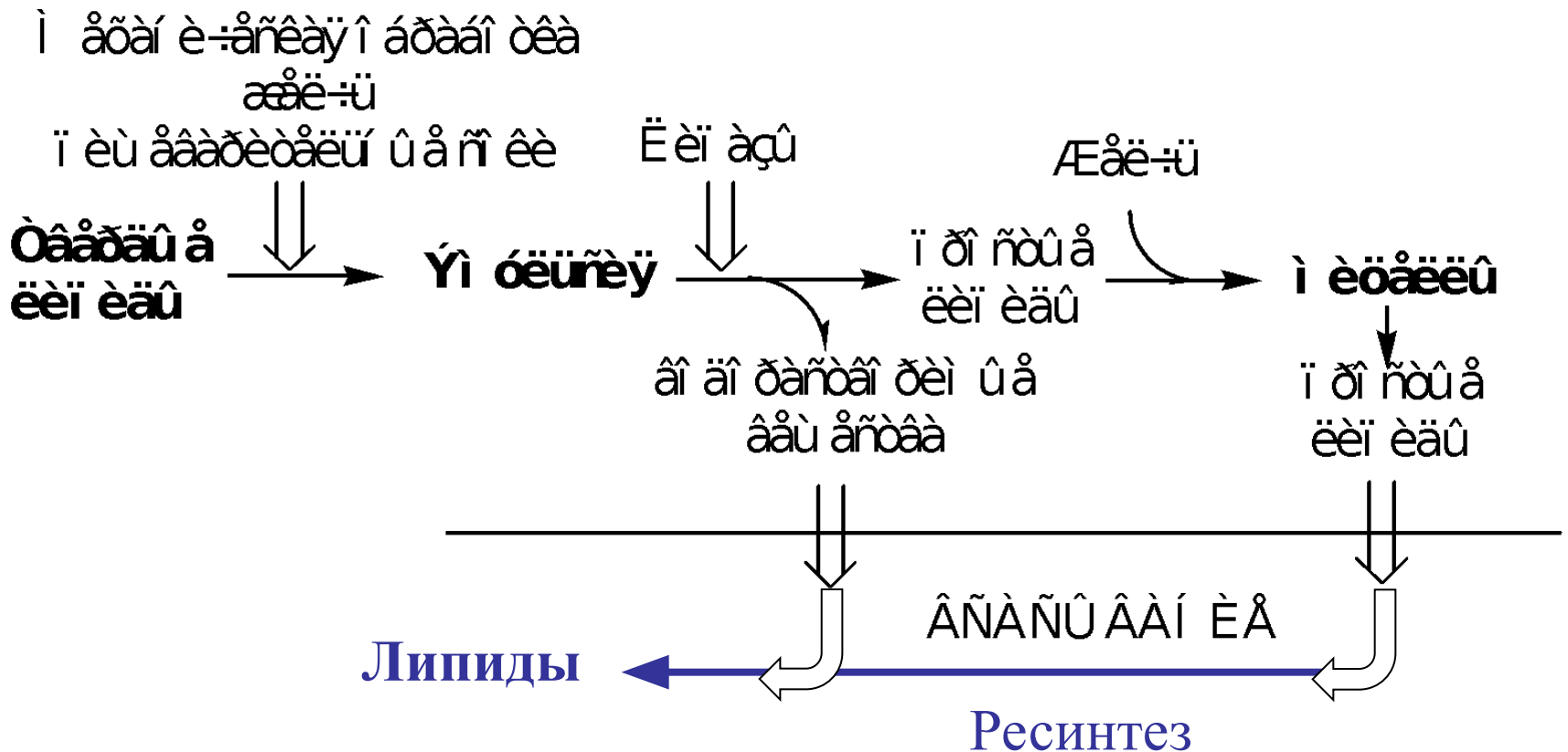
Орехи, семечки			Орехи, семечки
Жиры, масла и соусы	Кетчуп, уксус, горчица	Сметанные соусы	Все жиры и масла Майонез
Сладости, кондитерские изделия	Варенье, джемы Зефир, пастила		Торты, пирожные Халва, вафли Шоколад
Напитки	Прохладитель ные напитки, кофе, чай		Алкогольные напитки (жиры образуются из этанола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

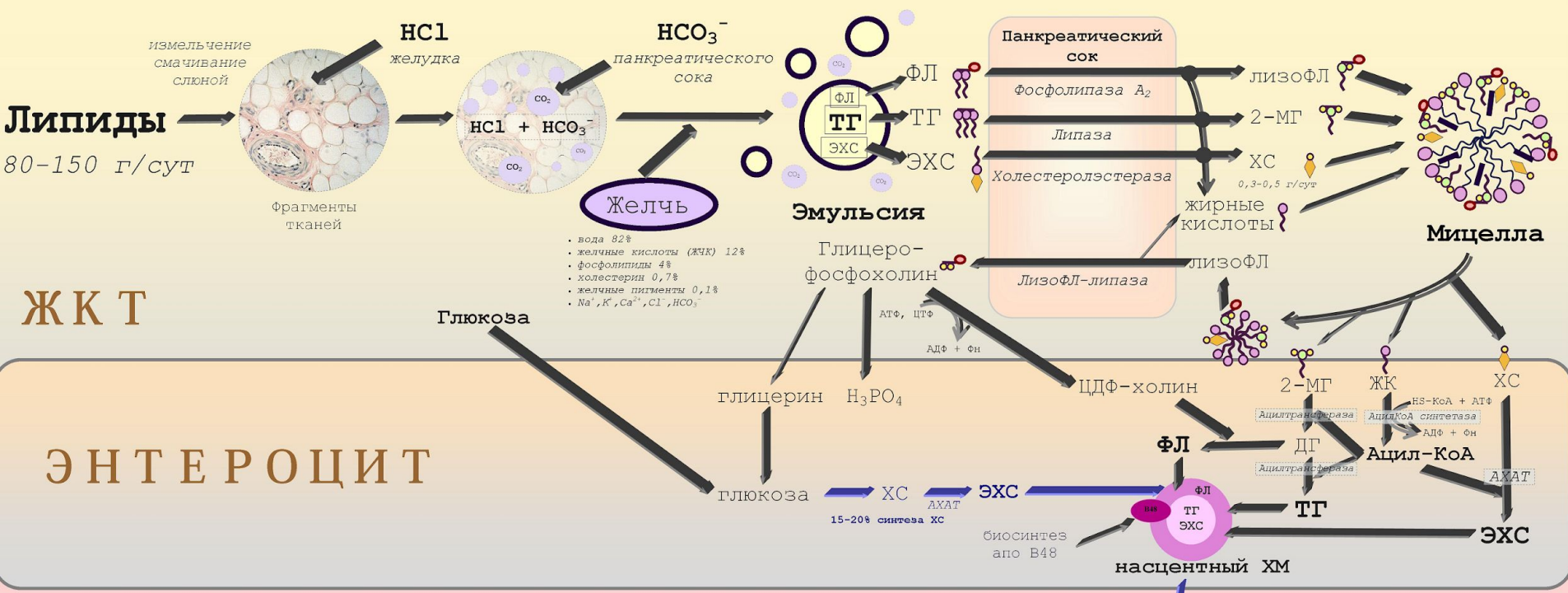
Лишь 40-50% пищевых липидов расщепляется, от 3% до 10% пищевых липидов всасываются в неизменном виде. Так как липиды не растворимы в воде, их переваривание и всасывание имеет свои особенности и протекает в несколько стадий:



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

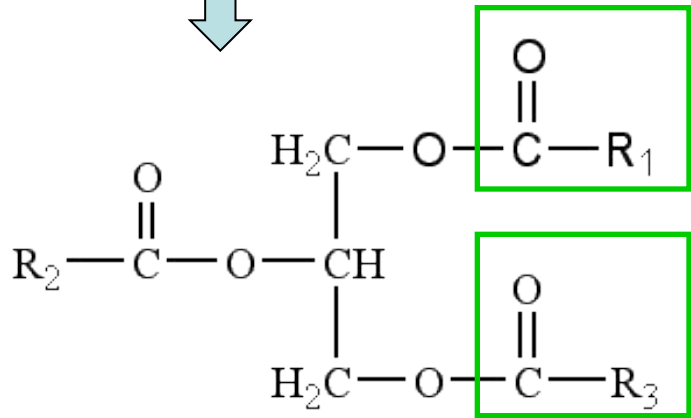
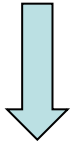
МГ-изомераза (панкреатическая)

Холестеролэстераза (панкреатическая, кишечная)

Фосфолипазы (панкреатические)

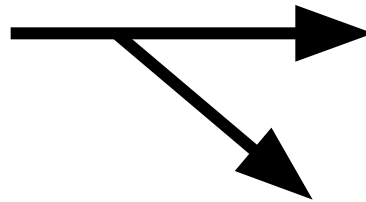
Гидролиз ТГ

Пища

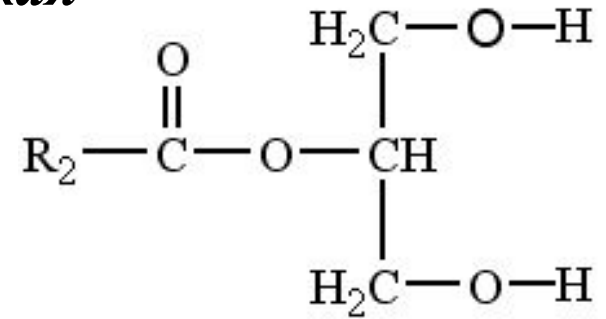


ТГ

*Панкреатическая
липаза*

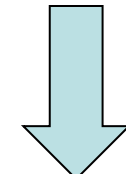
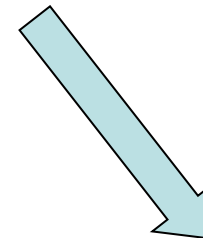


2 R-COOH



2-МГ

Верхние отделы тонкой кишки

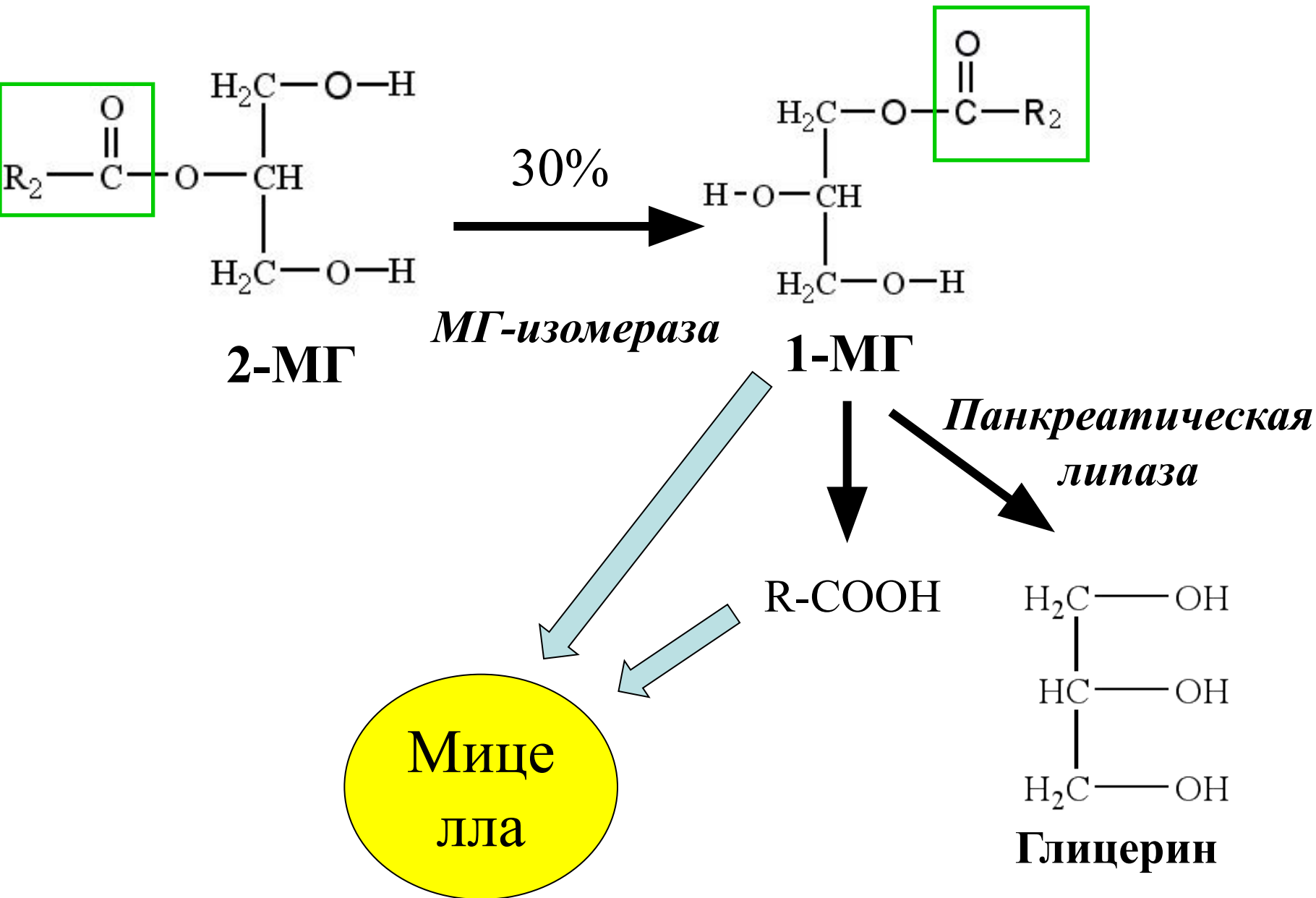


70%



Мицелла

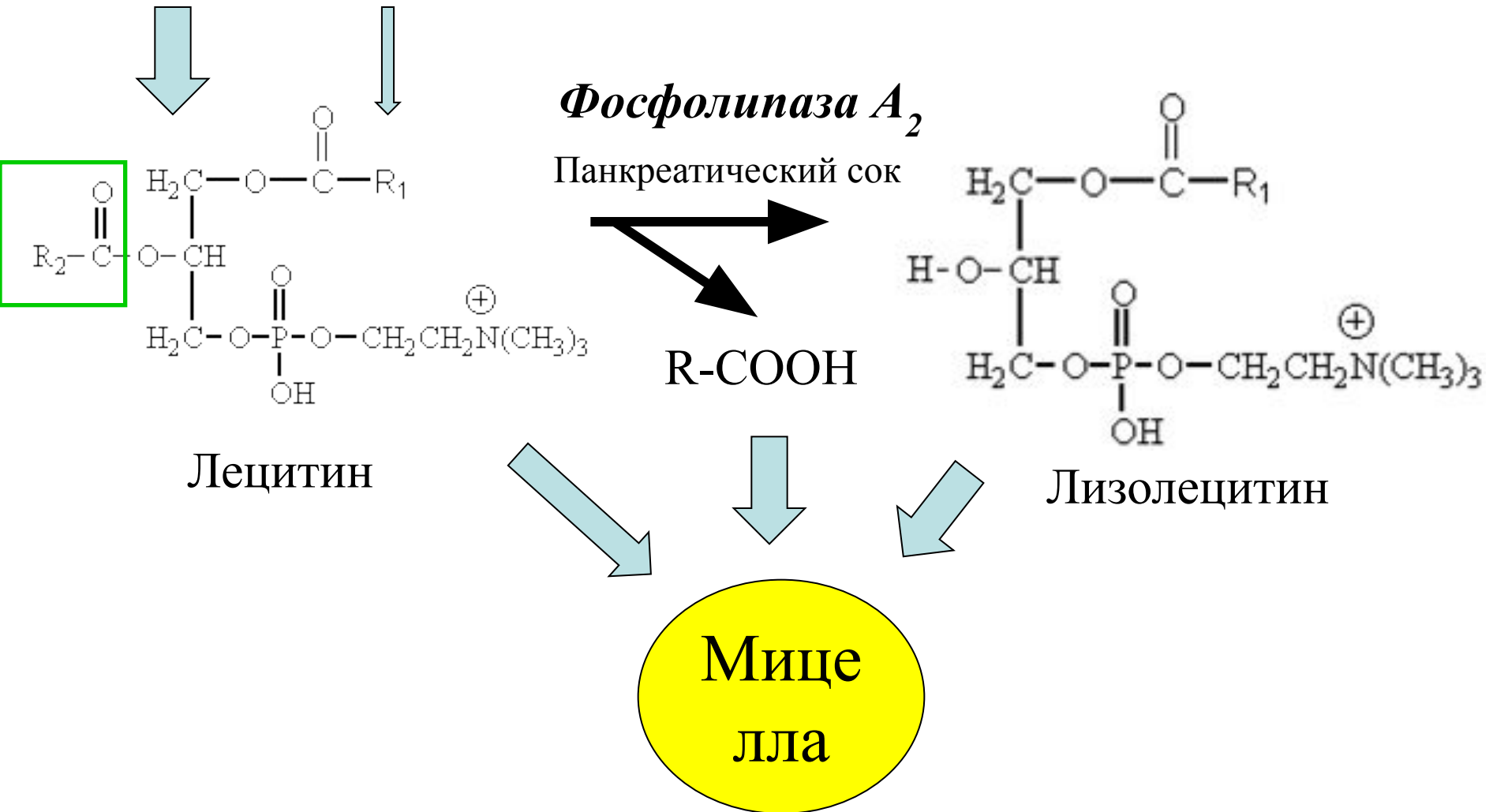
Гидролиз 2-МГ



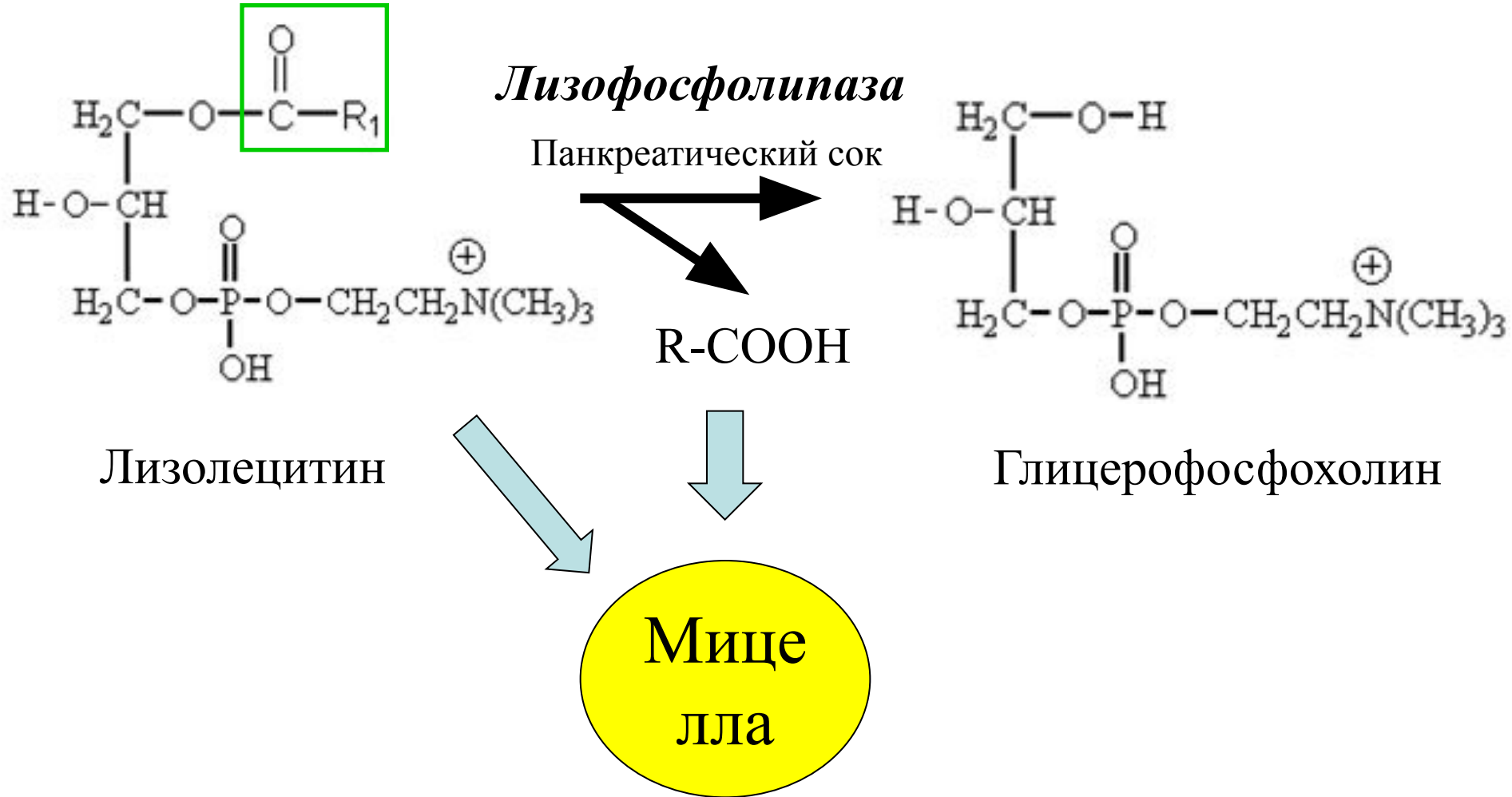
Гидролиз ФЛ

Желчь
11–12 г/сут

Пища
1–2 г/сут



Гидролиз лизоФЛ



Остальные фосфолипиды не гидролизуются

Гидролиз ЭХС

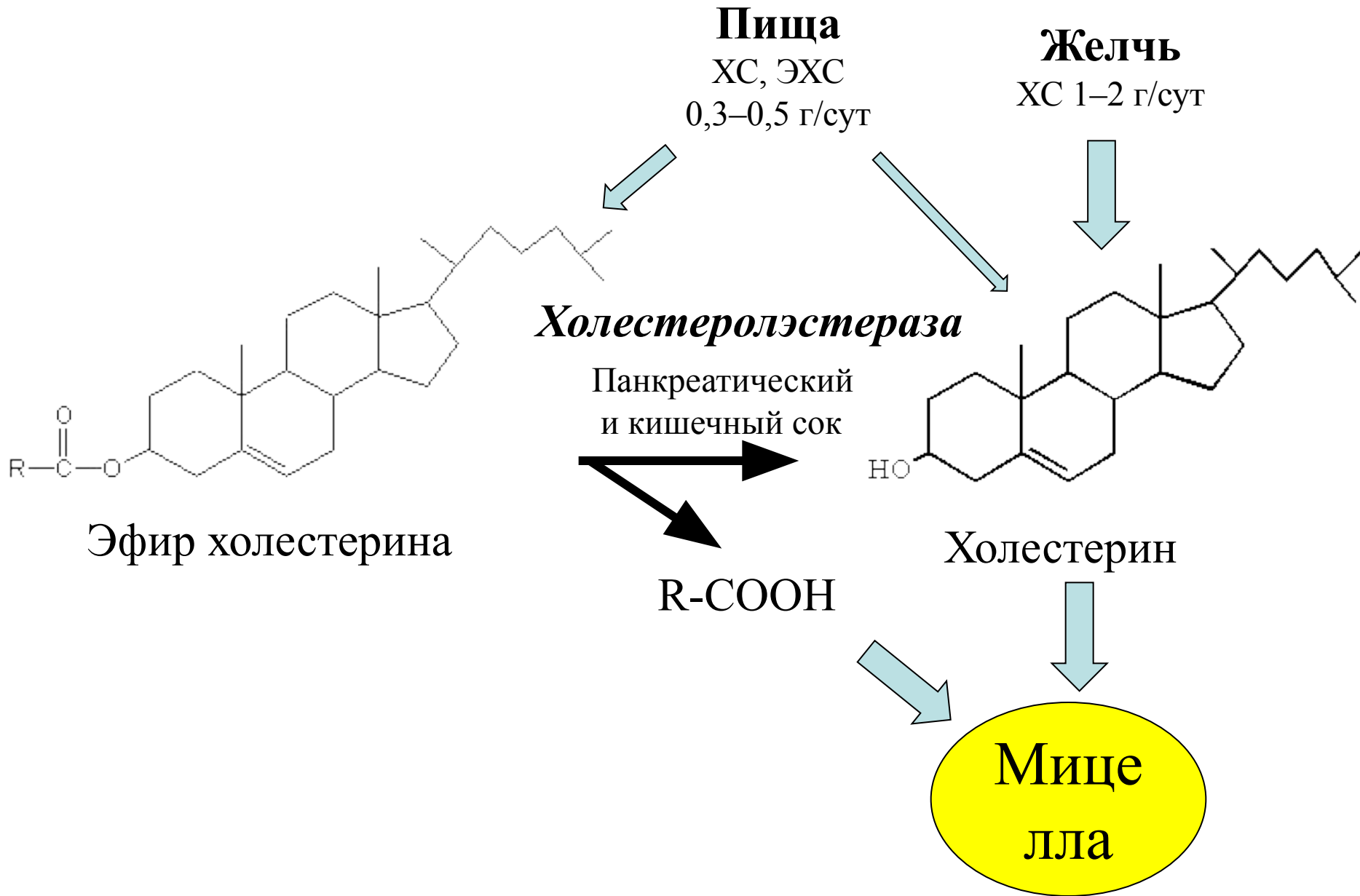
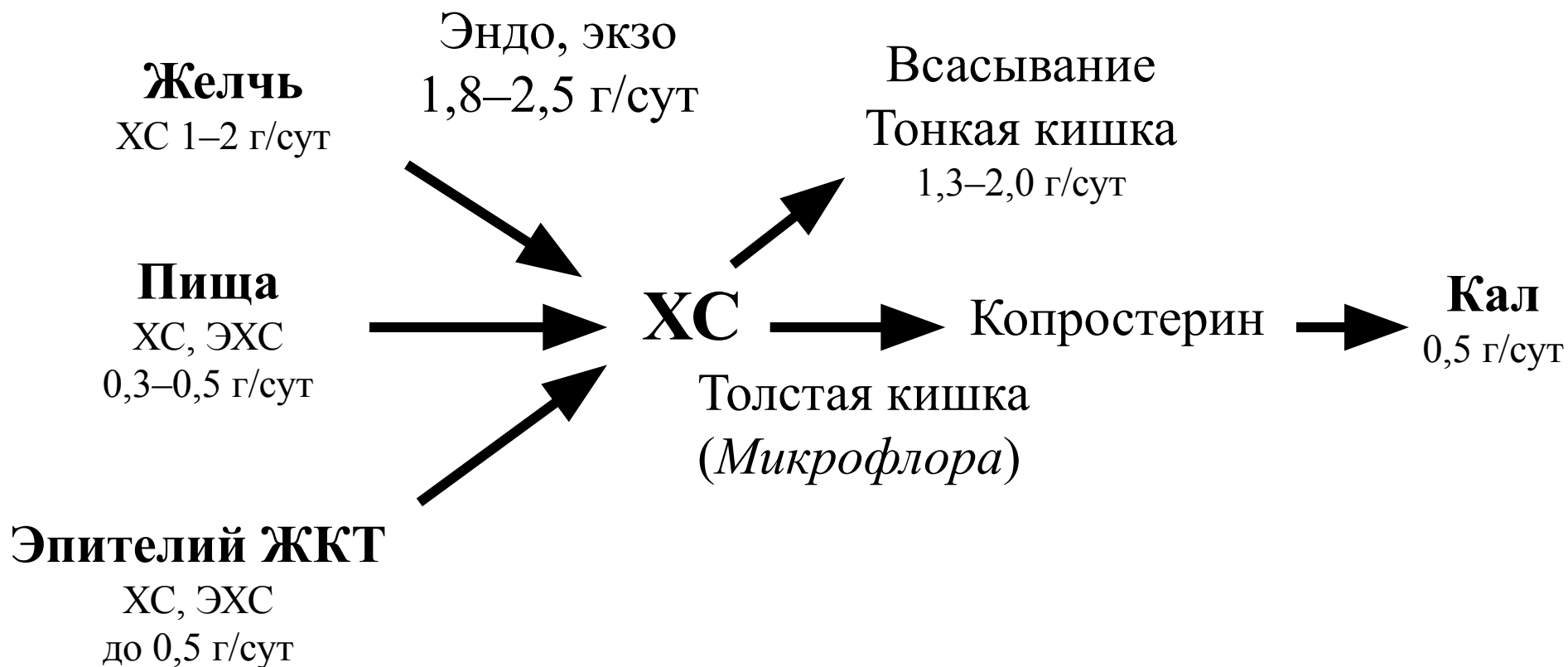
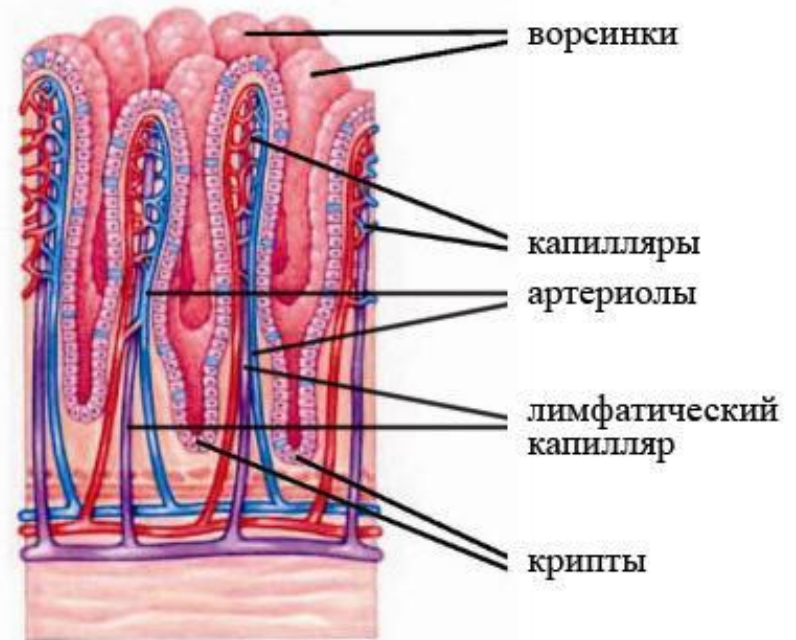


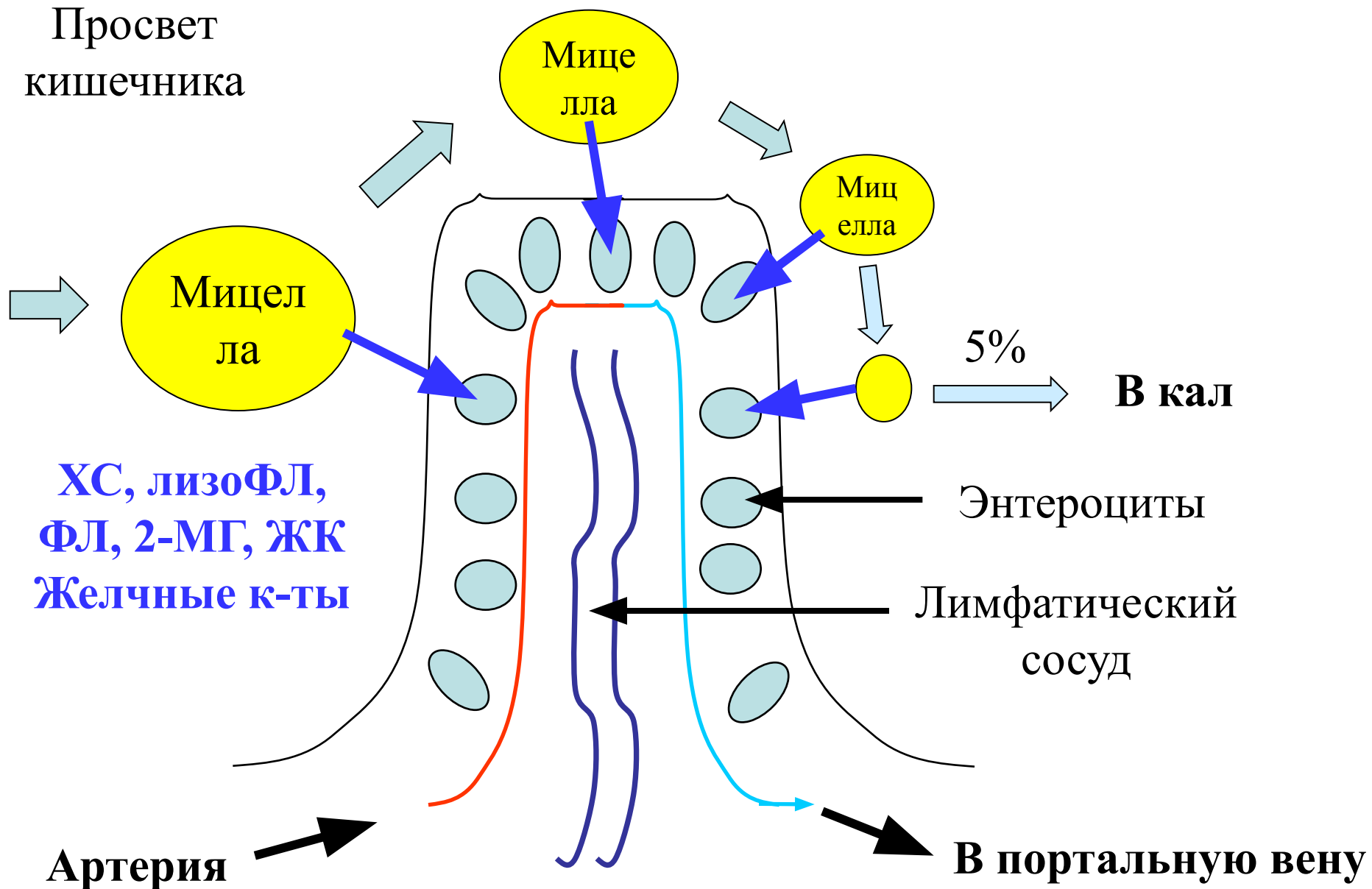
Схема обмена холестерина в ЖКТ



Ворсинки тонкой кишки

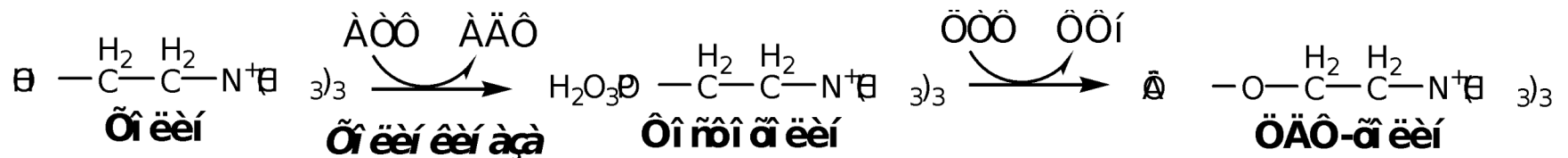


Всасывание липидов в тонкой кишке

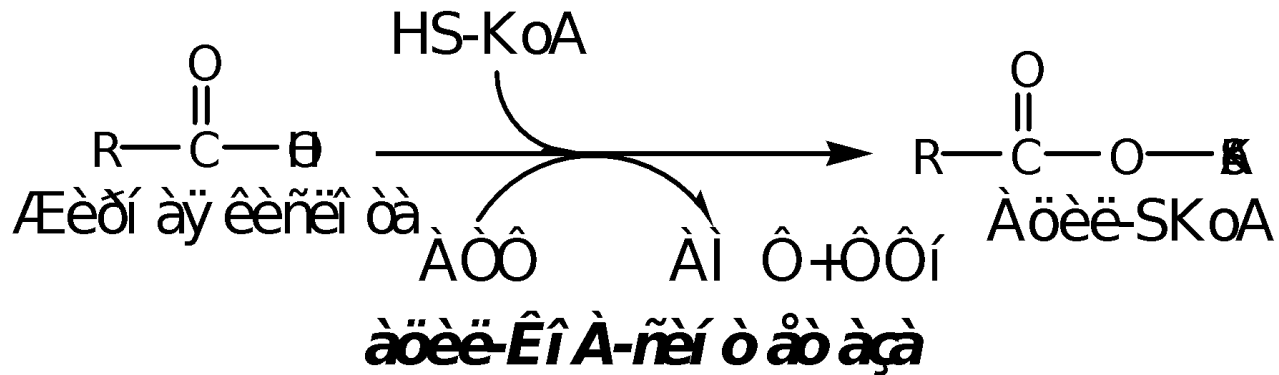


Всасывание водорастворимых продуктов гидролиза

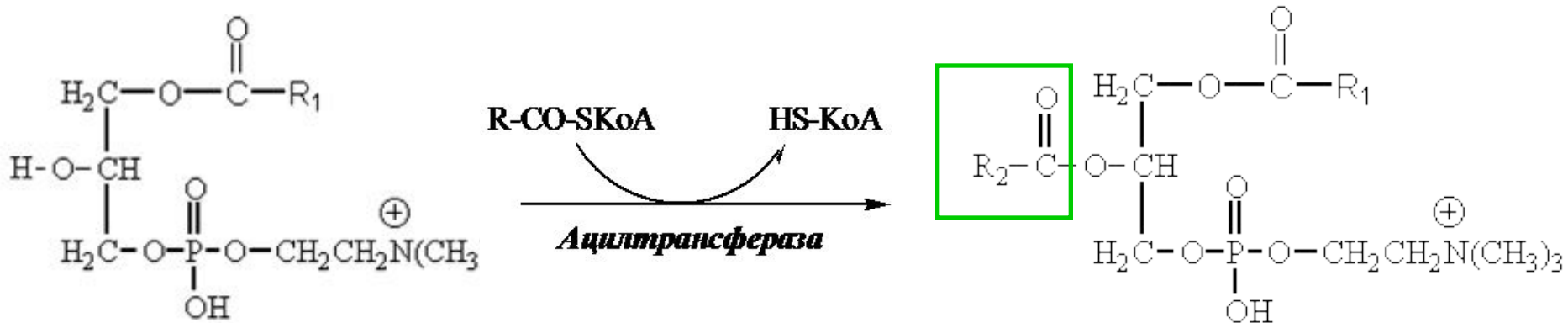
1. Идет в тонкой кишке без участия мицелл.
2. фосфорная кислота - в виде Na^+ и K^+ солей
3. глицерол - в свободном виде
4. Холин и этаноламин всасываются в виде ЦДФ производных



Ресинтез липидов в энтероците



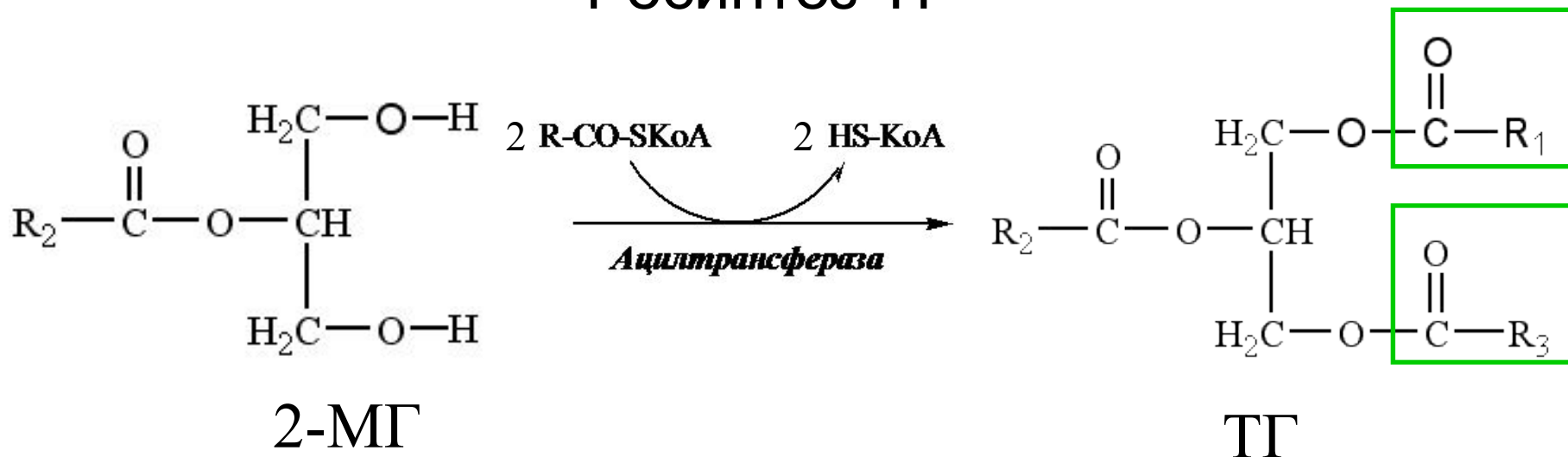
Ресинтез ФЛ



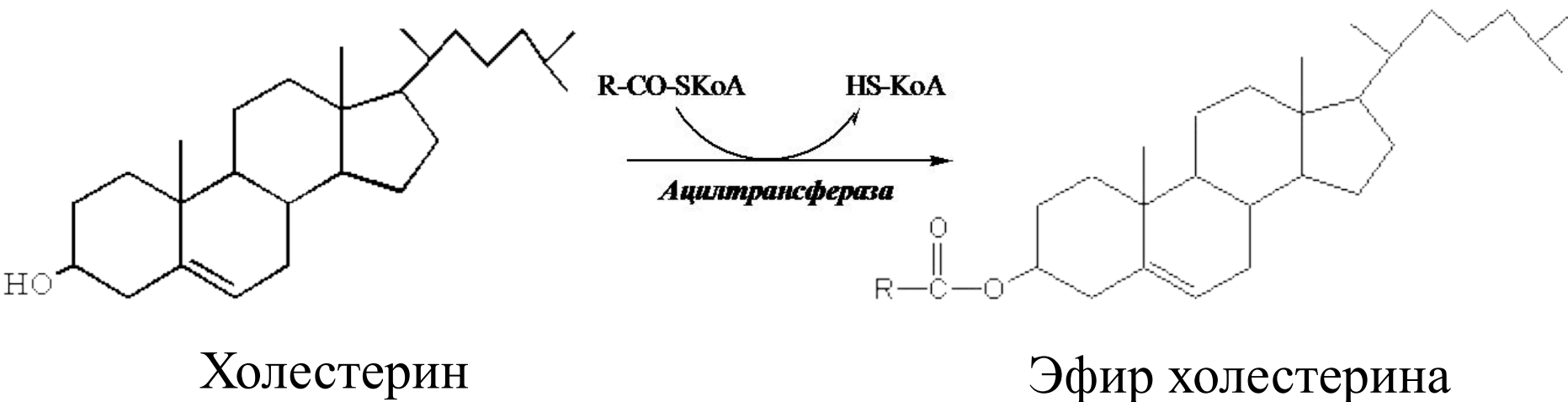
Лизолецитин

Лецитин

Ресинтез ТГ



Ресинтез ЭХС

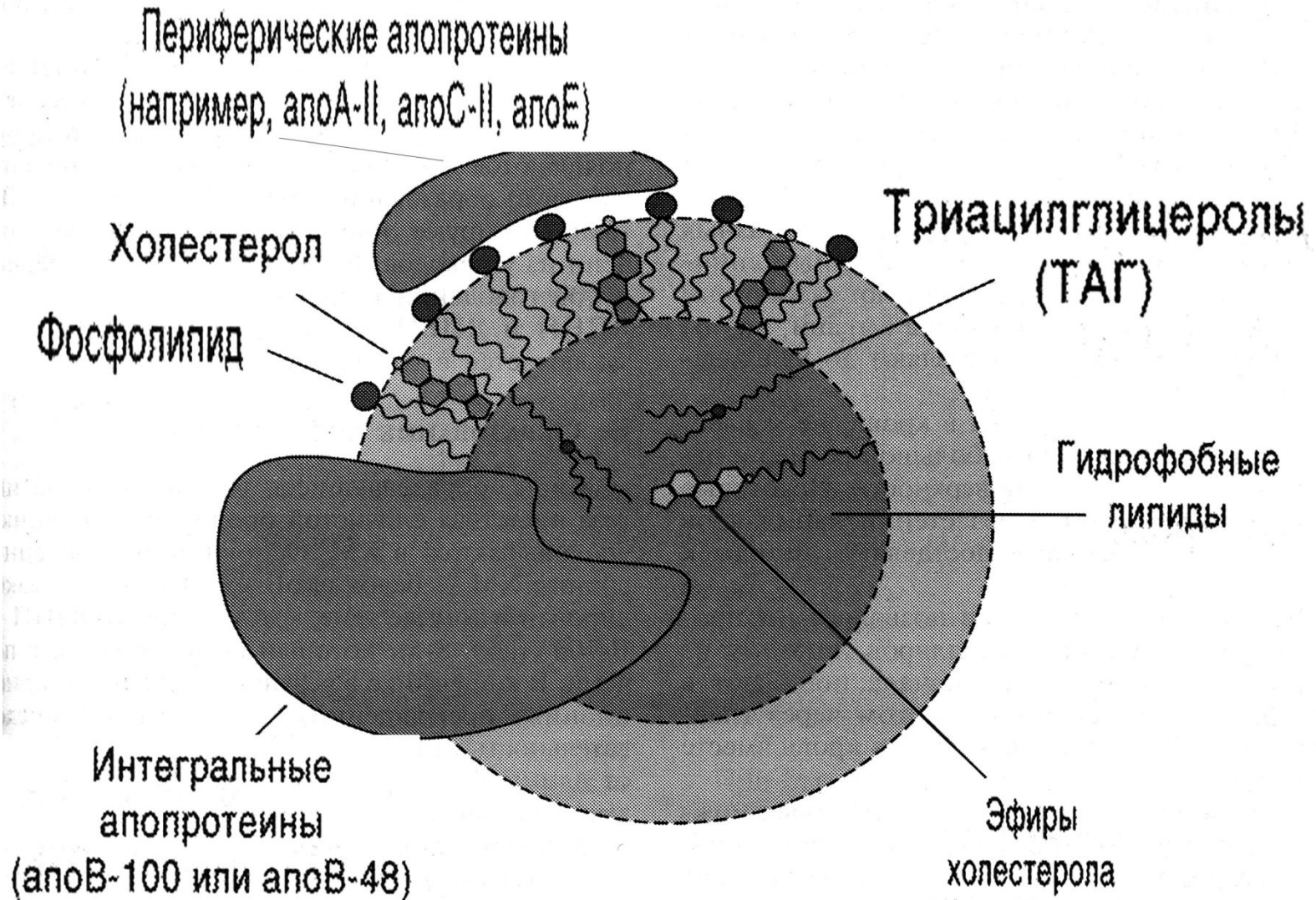


Транспорт липидов

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.

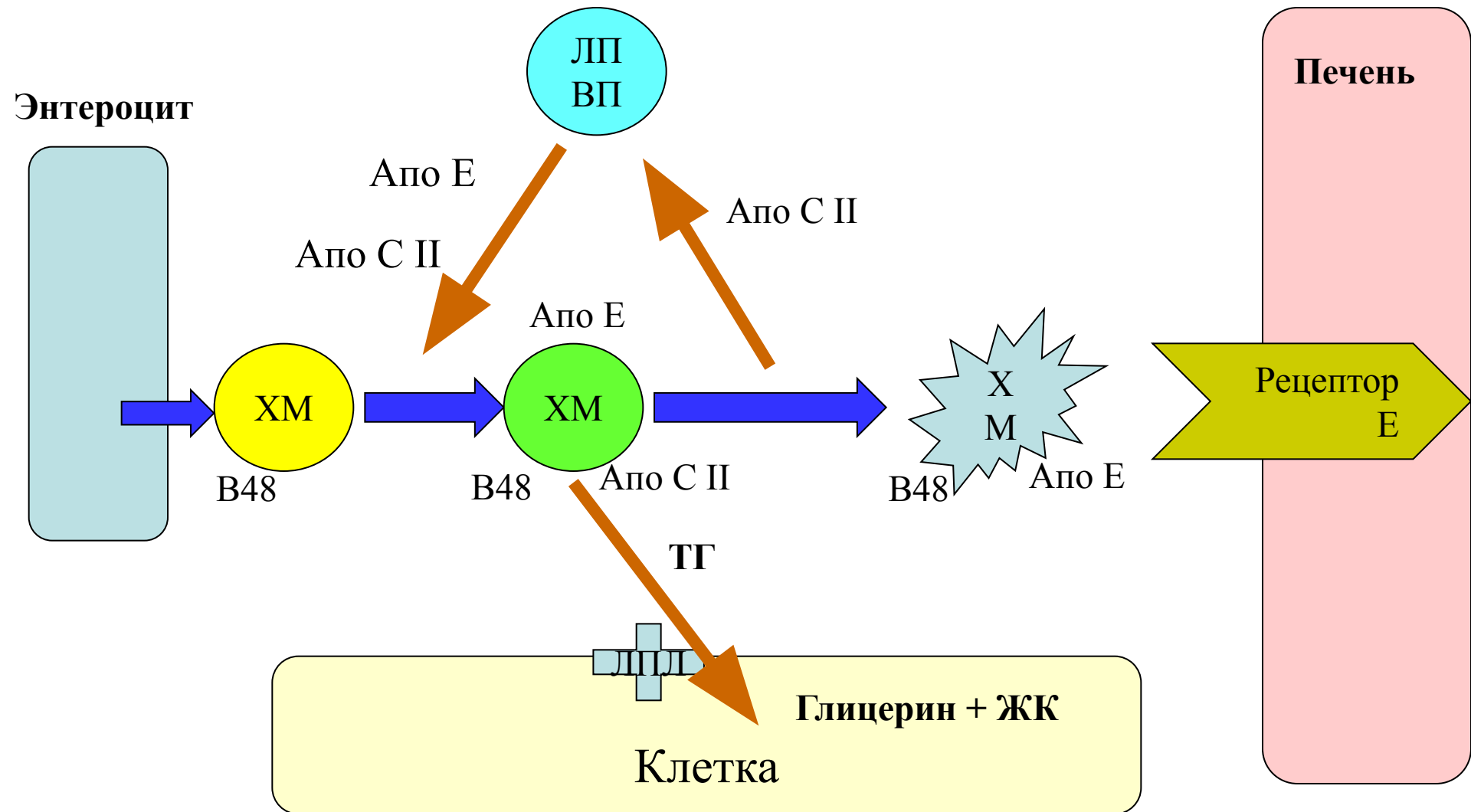
2. Лецитин: холестерол-ацил-трансфераза (ЛХАТ)

- 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.

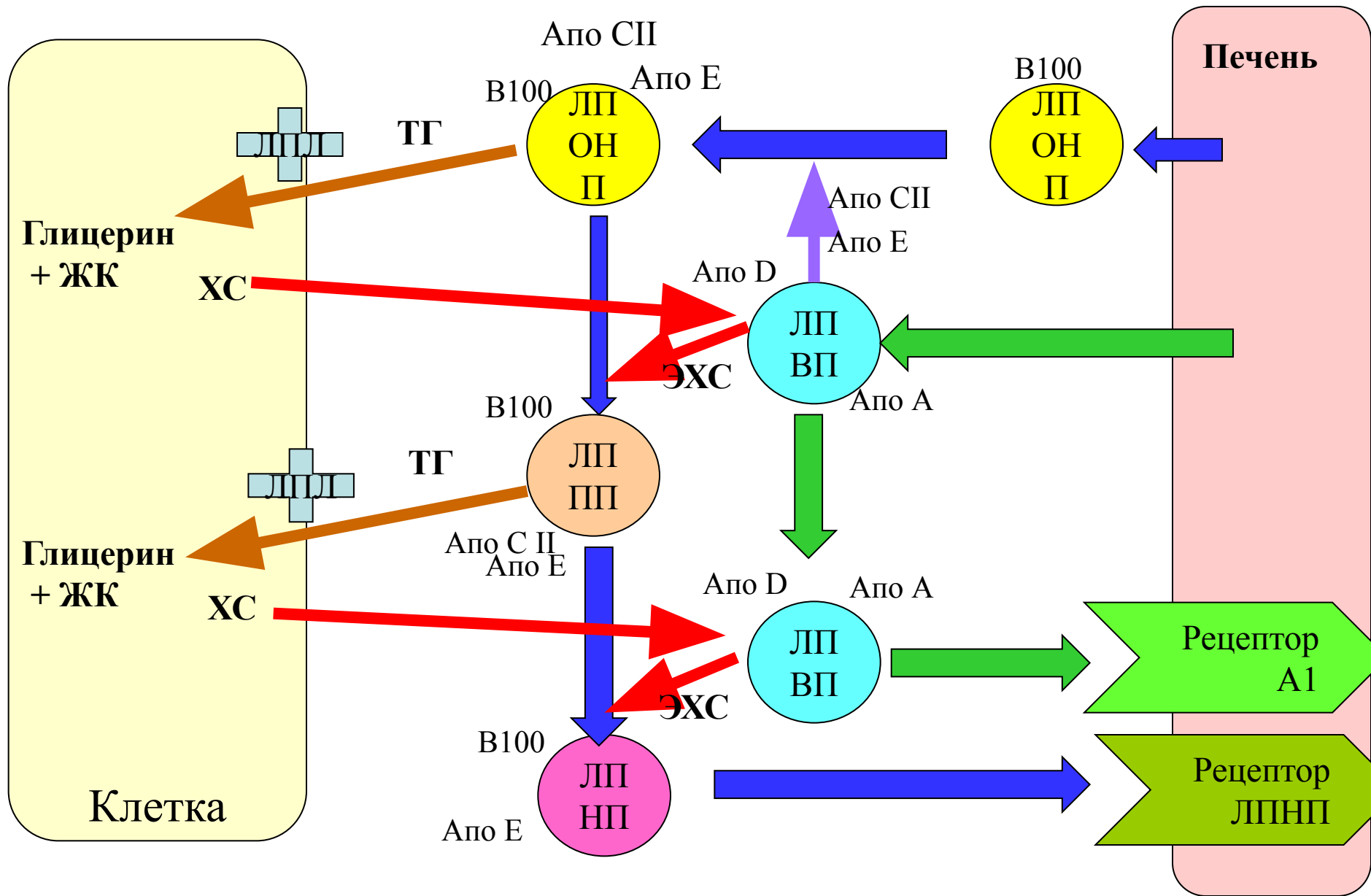
3. Печёночная липаза

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

Обмен ХМ



Обмен ЛПОНП, ЛППП, ЛПНП



Спасибо за внимание!