

# ЛИПИДЫ

- ◎ **Классификация липидов. Структура и функция.**
- ◎ **Пищеварение липидов. Роль желчи.**
- ◎ **Транспортные формы липидов.**
- ◎ **Метаболизм липидов.**
- ◎ **Нарушение и регуляция липидного обмена.**

**Липиды** органические вещества биологической природы, нерастворимые в воде, но растворимые в органических растворителях.

# 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

Сульфоллипиды

Ганглиозиды

#### ГЛИЦЕРОФОСФОЛИПИДЫ

Фосфатидилхолины  
(лецитины)

Фосфатидилэтаноламины  
(кефалины)

Фосфатидилсерины

Фосфатидилинозитолы

Плазмалогены

Кардиолипиды

#### СФИНГОФОСФОЛИПИДЫ

Сфингомиелины

## НЕОМЫЛЯЕМЫЕ ЛИПИДЫ

Не гидролизуются в щелочной или кислой среде

Производные насыщенного углеводорода – циклопентанпер-  
гидрофенантрена.  
Стероиды делят на группы в зависимости от количества  
углеродных атомов боковой цепи у C<sub>17</sub>

### СТЕРИНЫ, СТЕРИДЫ

Эфиры стеринов и жирных кислот (восемь углеродных атомов у C<sub>17</sub>) – холестерин, эфиры холестерина

### ЖЕЛЧНЫЕ КИСЛОТЫ

Холевая, дезоксихолевая и хенодезоксихолевая кислоты  
(пять углеродных атомов у C<sub>17</sub>)

### СТЕРОИДНЫЕ ГОРМОНЫ

Кортикостероиды и прогестероны (два углеродных атома у C<sub>17</sub>).

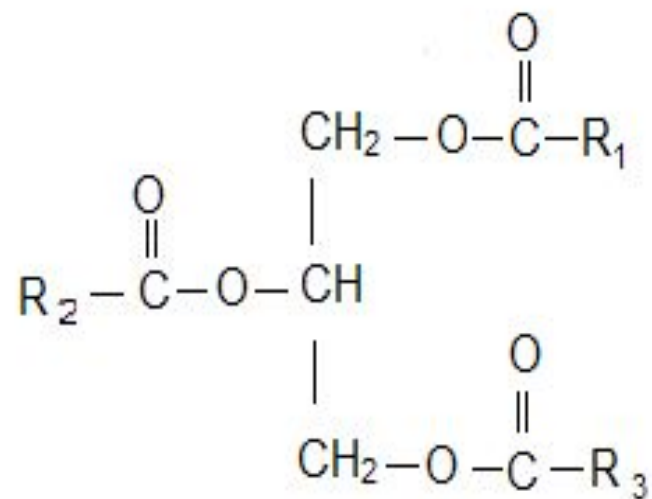
### СТЕРОИДНЫЕ ВИТАМИНЫ

Витамины D<sub>2</sub> и D<sub>3</sub>, провитамины D {эргостерин, 7-дегидрохолестерин), восемь углеродных атомов у

# липиды



# ТРИАЦИЛГЛИЦЕРОЛ



# НЕНАСЫЩЕННЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ

Олеиновая  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$   
(C18:1)

Линолевая  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$   
 $\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$  (C18:2; 9,12,15 )

Линоленовая (C18:3; 6,12,15)

Арахидоновая (C20:4; 5, 8,11,14))

# НАСЫЩЕННЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ

- Пальмитиновая  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$  (C16:0)
- Стеариновая  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$  (C18:0)
- Лауриновая  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{10}-\text{COOH}$  (C12:0)

## **$\omega$ 6-жирные кислоты**

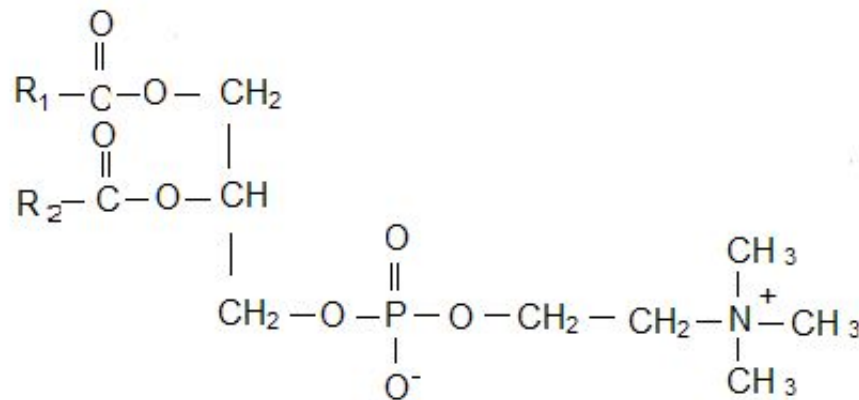
- ⦿ линолевая (C18:2; 9,12),
- ⦿  $\gamma$ -линоленовая (C18:3; 6,9,12),
- ⦿ арахидоновая (C20:4; 5,8,11,14).

## **$\omega$ 3-жирные кислоты:**

- ⦿ линоленовая (C18:3; 9,12,15),
- ⦿ тимнодоновая (C20:5; 5,8,11,14,17),
- ⦿ клупанодоновая (C22:5; 7,10,13,16,19),
- ⦿ цервоновая (C22:6; 4,7,10,13,16,19).

# ФОСФОТИДИЛХОЛИН

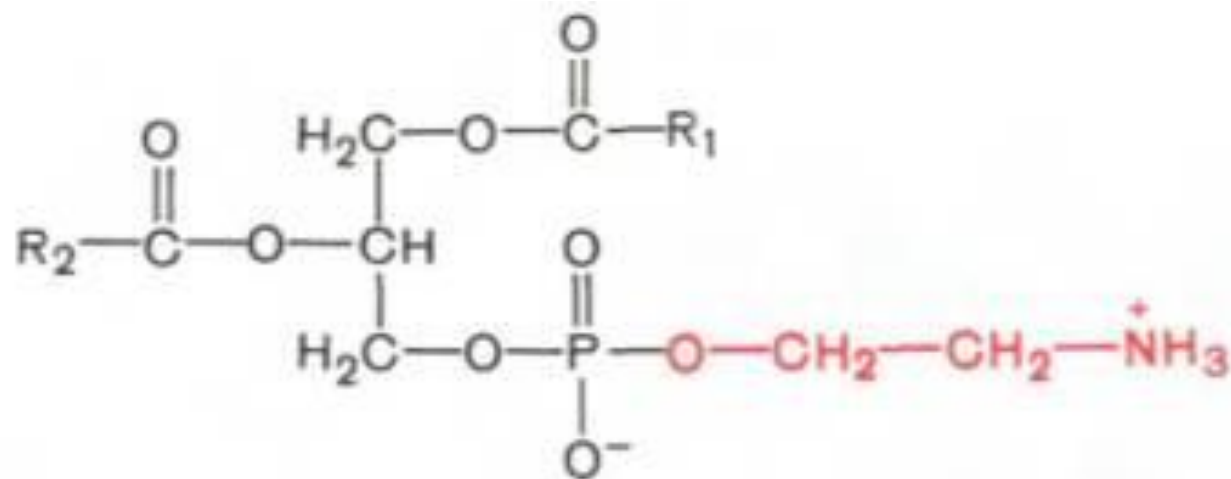
- В результате гидролиза фосфотидилхолина образуются спирт- глицерин, остатки жирных кислот, остаток фосфорной кислоты и остаток холина.



# ФУНКЦИИ ФОСФОТИДИЛХОЛИНА

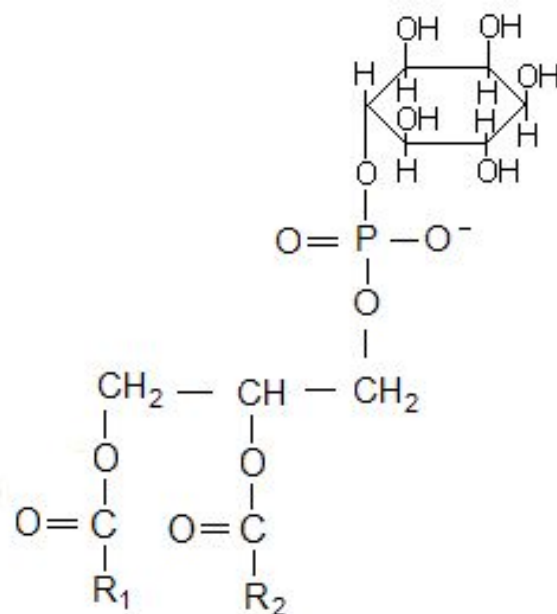
- Из фосфотидилхолина синтезируется **лизфосфотидилхолин**, который оказывает влияние на проведение сигнала через активацию G-белков или протеинкиназы C (т.е. лизфосфотидилхолин выполняет роль вторичного посредника в передаче трансмембранного сигнала).
- В альвеоцитах лизфосфотидилхолин превращается в **сурфактант**- вещество, покрывающее альвеолярную поверхность и препятствует спадению легочных альвеол. (Недостаток этого соединения в лёгких является причиной нарушения дыхания у новорожденных)

# ФОСФОТИДИЛЭТАНОЛАМИН



Фосфатидилэтаноламин

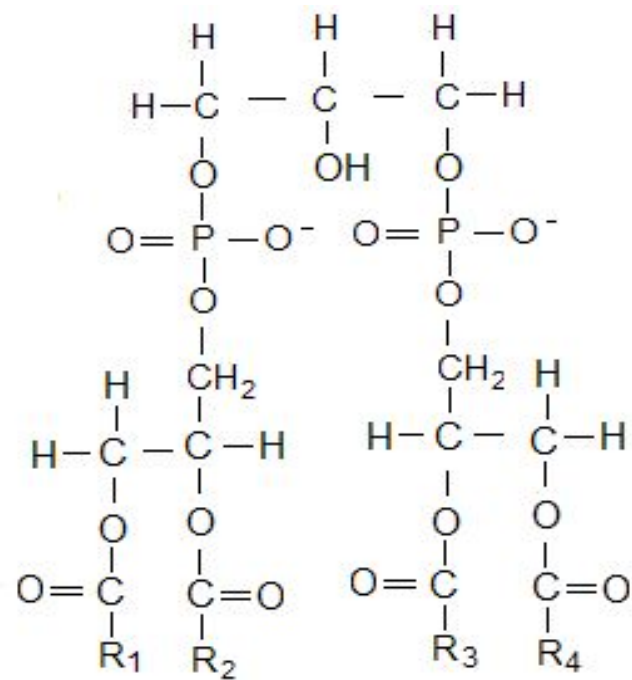
# ФОСФОТИДИЛИНОЗИТОЛ



# ФУНКЦИИ ФОСФОТИДИЛИНОЗИТОЛА

- Фосфотидилинозитол является предшественником Инозитол-1,4,5-трифосфата, который связывается с рецептором гладкого эндоплазматического ретикулума, что приводит к высвобождению из цистерн ретикулума ионов  $\text{Ca}^{2+}$ . Ионы кальция связываются с белком кальмодулином, активируя его.

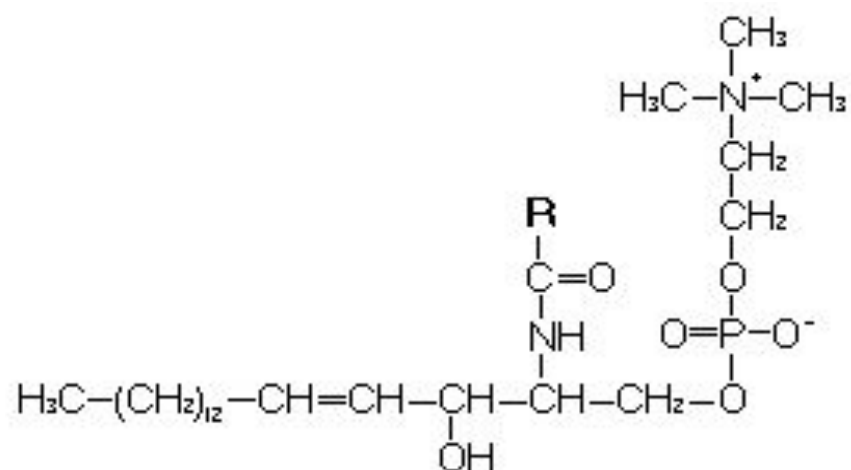
# КАРДИОЛИПИН



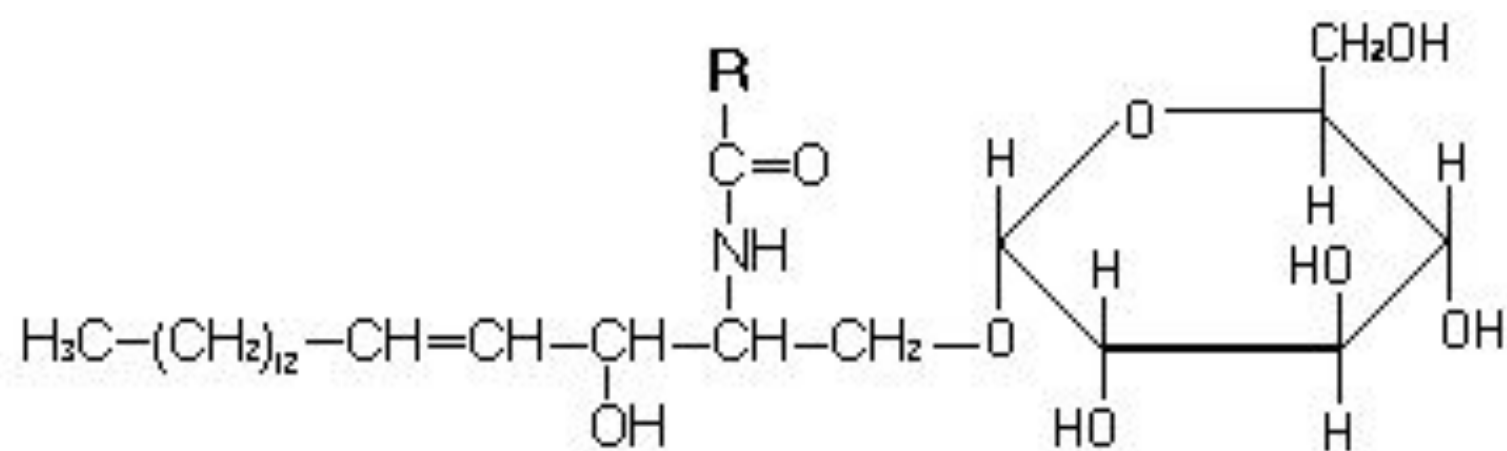
# КАРДИОЛИПИН

- Кардиолипин участвует в поддержании функционирования дыхательной цепи.
- Кардиолипин функционирует как протонная ловушка в окислительном фосфорилировании.
- Кардиолипин участвует в запуске апоптоза клетки. (способствует образованию поры, в результате перемещения из внутренней мембраны на внешнюю мембрану митохондрии, в следствие чего цитохром c выходит в цитозоль).

# СФИНГОМИЕЛИН



# ГЛЮКОЦЕРЕБРОЗИД



# ФУНКЦИИ ЛИПИДОВ

- **Резервно-энергетическая.** (Триацилглицериды - основной энергетический резерв организма при голодании)
- **Структурная** (Фосфолипиды, холестерол, гликолипиды-структурный компонент мембран клеток. )
- **Регуляторная**(Гликолипиды выполняют рецепторные функции. Производные жирных кислот - эйкозаноиды - являются "местными или тканевыми гормонами", обеспечивая регуляцию функций клеток.
- **Защитная**(Обеспечивает механическую защиту внутренних органов. Липиды обладают плохой теплопроводностью и большой теплоемкостью, благодаря чему они предохраняют организм от резкого перепада температуры )
- **Источник метаболической воды.** (При окислении атомов углерода жирных кислот путем отнятия водорода требуется большое количество атмосферного кислорода, в результате образуется вода)

# ЭЙКОЗАНОИДЫ

- Арахидоновая кислота



Тромбоксаны



Лейкотриены



Простагландины

(простациклины)

- **Тромбоксаны** синтезируются в тромбоцитах, выходят в кров. русло и вызывают сужение кров. сосудов и агрегацию тромбоцитов.
- **Простациклины** - препятствуют агрегации тромбоцитов (антагонисты тромбоксанов.)
- **Простагландины** - вызывают сокращение гл. мускулатуры человека. Используются для стимулирования нормальных родов, предупреждения и обезболивания язвы желудка, регуляции кровяного давления.
- **Лейкотриены** - вызывают сокращение гл. мускулатуры бронхов. Повышают приток и активацию лейкоцитов, являются регуляторами заболеваний в развитии которых участвуют воспалительные реакции и аллергич. реакции.

# **Переваривание липидов в ЖКТ**

**Суточная потребность - 80-100г пищевых липидов;**

**Переваривание** происходит в 12-типерстной кишке тонкого кишечника;

**Основной пищеварительный фермент - панкреатическая липаза;**

**Оптимум рН действия липазы – 7,2-7,8 слабощелочной** (создается бикарбонатами поджелудочного сока);

# ПИЩЕВАРЕНИЕ ЛИПИДОВ

## ***Ротовая полость.***

У взрослых переваривание липидов не идет.

***Желудок.*** Желудочная липаза у взрослого не играет существенной роли в переваривании липидов из-за ее низкой концентрации, не соответствует рН и отсутствия эмульгированных жиров в пище.

- ◎ ***Кишечник*** . Переваривание липидов в кишечнике осуществляется под воздействием панкреатической липазы

# ПИЩЕВАРЕНИЕ ЛИПИДОВ.

У младенцев: лингвальная липаза,  $\text{pH}=4-4,5$  .

желудочная липаза,  $\text{pH}=5-7$

Панкреатическая липаза неактивна.

Активность достигает максимума к 8-9 гг.

В результате образуются

2-моноацилглицерины(МАГ), жирные кислоты и глицерин.

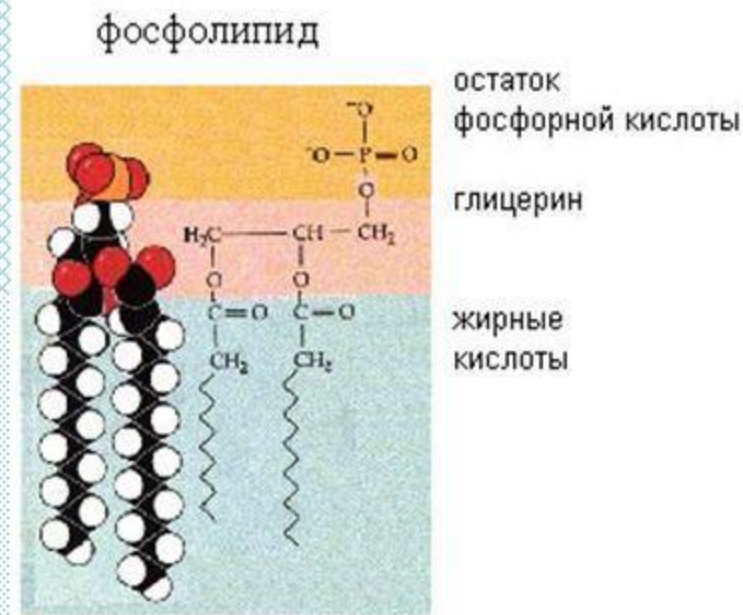
2-МАГ всасываются или превращаются моноглицерид-изомеразой в 1-МАГ. Последний гидролизуется до глицерина и жирной кислоты.

- **Панкреатическая липаза** активна в тонком кишечнике, pH-8-9.
- В поджелудочной железе: пролипаза —> кишечник —> при участии желчных кислот и колипазы —> липаза
- Колипаза, активируется трипсином.

В панкреатическом соке:

- ⦿ фосфолипаза A2
- ⦿ фосфолипазы C
- ⦿ лизофосфолипазы.

# Фосфолипазы



- гидролизуют фосфолипиды (для этого необходим кальций),
- профосфолипаза  $\xrightarrow{\text{Трипсин}}$  фосфолипаза,
- при действии фосфолипазы A2 образуется лизофосфолипид и жирная кислота, далее действует лизофосфолипаза (A1).

Лизофосфолипиды являются хорошим поверхностно-активным веществом, поэтому они способствуют эмульгированию пищевых жиров и образованию мицелл.

Гидролиз эфиров ХС осуществляет холестерол-эстераза панкреатического сока.

## ФУНКЦИИ ЖЕЛЧИ:

- Улучшает взаимодействие ТАГ с липазой;
- Эмульгирует жиры
- Уменьшает поверхностное натяжение
- Активирует панкреатическую липазу
- Обеспечивает всасывание продуктов переваривания ТАГ в стенку тонкого кишечника.
- Обеспечивает всасывание жирорастворимых витаминов.
- Участвует в экскреции избытка ХС, желчных пигментов, креатинина, металлов Zn, Cu, Hg, лекарства.

- Желчь вырабатывается печенью, собирается в желчных протоках и через общий жёлчный проток → жёлчный пузырь и двенадцатиперстную кишку → пищеварение.
- Желчь хранится в желчном пузыре, после еды выбрасывается в тонкую кишку.
- В суткм 10 мл. желчи на 1 кг. массы тела. Желчеобразование идет непрерывно.

# СОСТАВ ЖЕЛЧИ

- ⦿ вода (более 90%)
- ⦿ желчные кислоты и их соли;
- ⦿ холестерин;
- ⦿ лецитин;
- ⦿ билирубин;
- ⦿ ионы натрия, калия, хлора, кальция;
- ⦿ бикарбонаты.

# *ЖЕЛЧНЫЕ КИСЛОТЫ:*

- ◎ *Холевая*
- ◎ *дезоксихолевая*
- ◎ *хенодезоксихолевая*

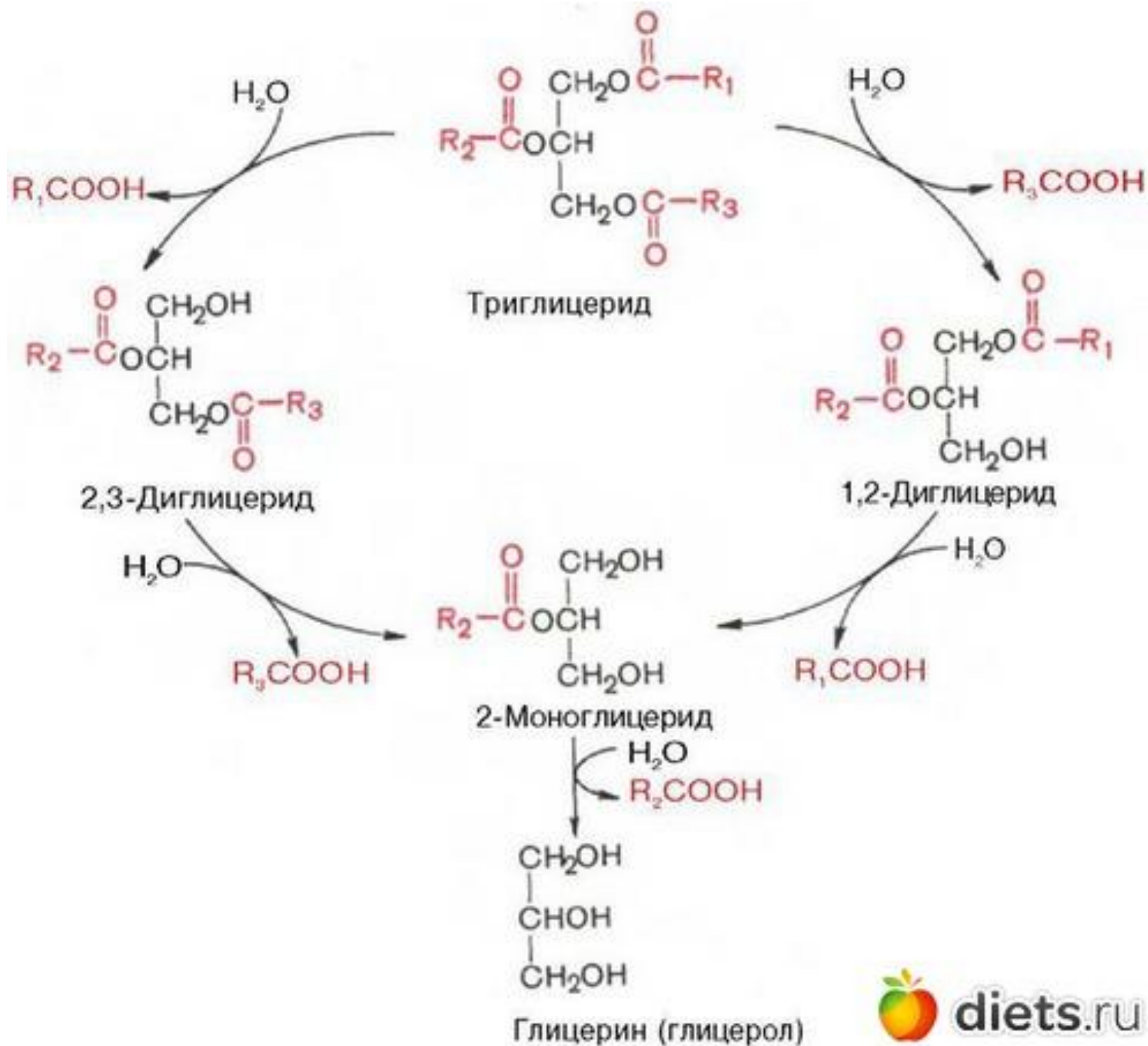
## ПАРНЫЕ ЖЕЛЧНЫЕ КИСЛОТЫ:

- ⦿ Холевая кислота + глицин →  
гликохолевая кислота
- ⦿ Дезоксихолевая + глицин →  
гликодезоксихолевая кислота
- ⦿ Холевая кислота + таурин →  
таурохолевая кислота

## ГОРМОНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ПЕРЕВАРИВАНИИ ЛИПИДОВ:

- **Секретин**: HCL стимулирует выделение секрета в 12 перстной кишке, он через кровь поступает в поджелудочную железу, вызывая там секрецию бикарбоната и кроме того усиливает отток желчи в кишечник.
- Пищевые компоненты стимулируют в поджелудочной железе секрецию **холецистокинина**, который усиливает сокращение желчного пузыря, секрецию желчи и секрецию пищеварительных ферментов из поджелудочной железы.

| Липиды пищи       | Ферменты ЖКТ                   | Место синтеза фермента | Продукты переваривания                                                                                       |
|-------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Триглицериды      | Липазы                         | Поджелудочная железа   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Моноацилглицеролы</li> <li>• Глицерин</li> <li>• ЖК</li> </ul>      |
| Фосфолипиды       | Фосфолипазы<br>A1<br>A2 C<br>D | Поджелудочная железа   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Глицерин и другие спирты</li> <li>• ЖК</li> <li>• Фосфат</li> </ul> |
| Эфиры холестерина | Холестерол-эстераза            | Поджелудочная железа   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Холестерол</li> <li>• ЖК</li> </ul>                                 |





# ВСАСЫВАНИЕ

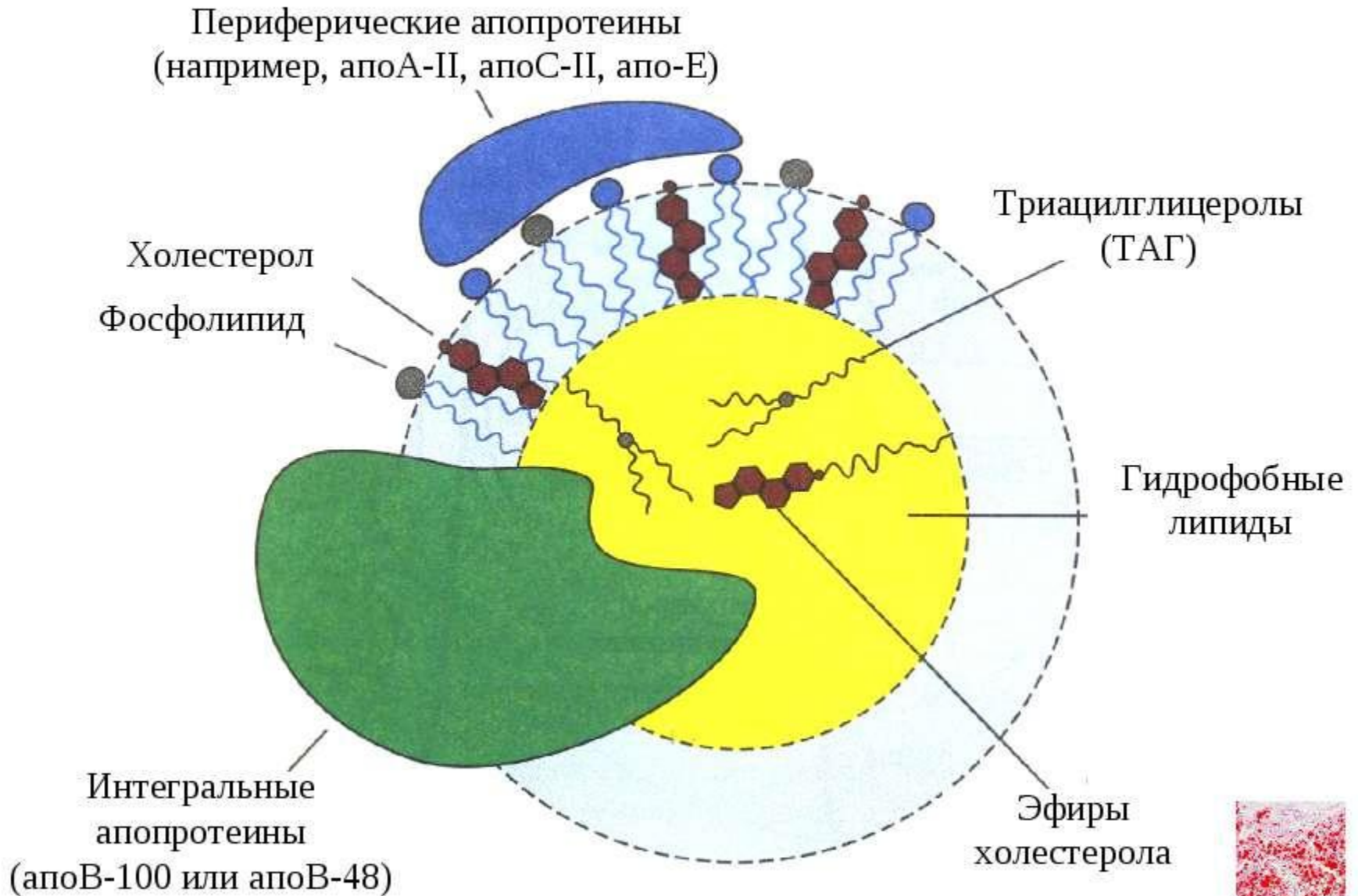
Глицерол поступает в капилляры ворсинок стенки тонкого кишечника и далее в кровь и печень.

Продукты переваривания пищевых липидов ЖК, МАГ, ХС внедряются в простые мицеллы и образуются смешанные мицеллы, которые абсорбируются клетками тонкого кишечника энтероцитами и распадаются там на свои компоненты. В цитозоле энтероцитов происходит синтез ТАГ из продуктов переварения жиров. Основная часть ресинтезированного ТАГ входят в состав синтезирующихся в энтероцитах хиломикронов, которые поступают сначала в лимфу, а затем в кровь

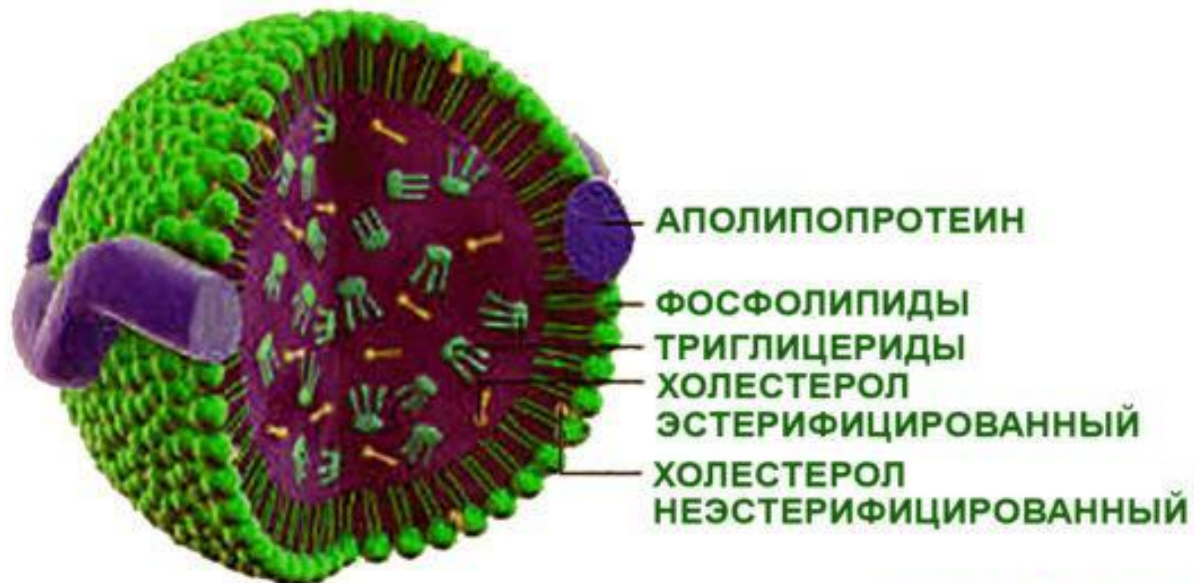
# ТРАНСПОРТНЫЕ ФОРМЫ ЛИПИДОВ.

- ◉ Липопротеиды низкой плотности ЛПНП
- ◉ Липопротеиды очень низкой плотности ЛПОНП
- ◉ Липопротеиды высокой плотности ЛПВП
- ◉ Липопротеиды очень высокой плотности ЛПОВП
- ◉ Хиломикроны

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



|                                 | Хиломикроны<br>(ХМ)                                        | ЛПОНП                                                          | ЛППП                                                                          | ЛПНП                          | ЛПВП                                                                                      |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Состав, %</b>                |                                                            |                                                                |                                                                               |                               |                                                                                           |
| 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                                                                                         |
| <b>Функции</b>                  | Транспорт липидов из клеток кишечника (экзогенных липидов) | Транспорт липидов, синтезируемых в печени (эндогенных липидов) | Промежуточная форма превращения ЛПОНП в ЛПНП под действием фермента ЛП-липазы | Транспорт холестерина в ткани | Удаление избытка холестерина из клеток и других липопротеинов. Донор апопротеинов А, С-II |
| <b>Место образования</b>        | Эпителий тонкого кишечника                                 | Клетки печени                                                  | Кровь (из ЛПОНП)                                                              | Кровь (из ЛПОНП и ЛППП)       | Клетки печени - ЛПВП-предшественники                                                      |
| <b>Плотность, г/мл</b>          | 0,92–0,98                                                  | 0,96–1,00                                                      |                                                                               | 1,00–1,06                     | 1,06–1,21                                                                                 |
| <b>Диаметр частиц, нм</b>       | Больше 120                                                 | 30–100                                                         | 23–30                                                                         | 20–25                         | 7–15                                                                                      |
| <b>Основные аполипопротеины</b> | В-48<br>С-II; Е                                            | В-100<br>С-II; Е                                               | В-100; Е<br>(С-II)                                                            | В-100                         | А-I; А-II<br>С-II; Е                                                                      |



## ХИЛОМИКРОНЫ

ЛПВП



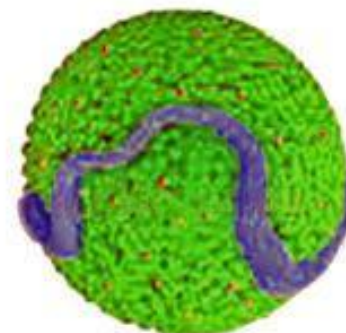
ЛПНП



ЛПСП



ЛПОНП



# Липопротеиды

- Хиломикроны
- ЛПОНП
- ЛППП
- ЛПНП
- ЛПВП

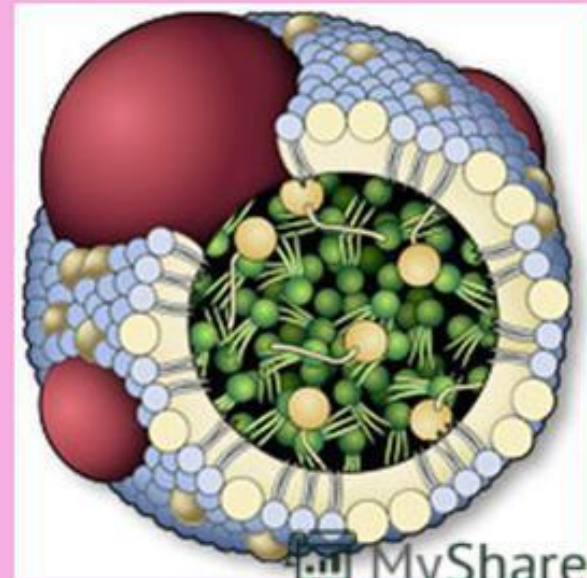
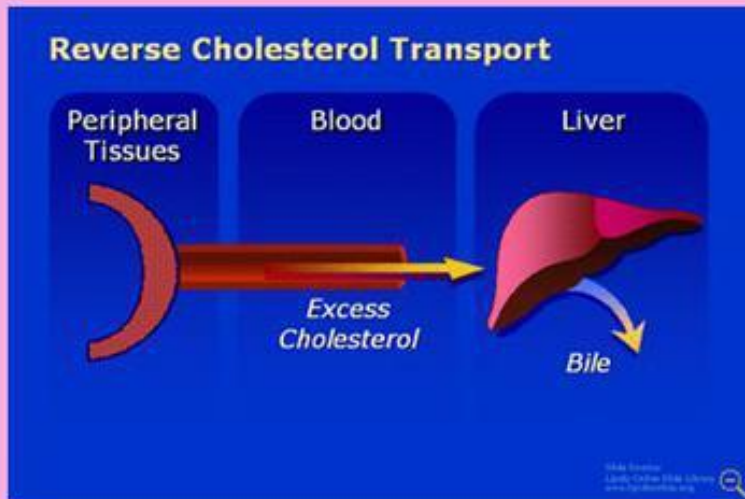
↓

уменьшение размера,  
увеличение скорости,  
увеличение плотности,  
увеличение содержания  
ХС и уменьшение ТГ

ЛПНП транспортируют ХС из печени в сосудистое русло к клеткам, ЛПВП участвуют в переносе ХС из тканей обратно в печень. Атерогенность ЛПНП определяется его фракциями.

# Липопротейды высокой плотности

Удаляет  
избыточный холестерин  
из тканей и из кровотока  
и способствует его  
транспортировке  
в печень



*КОНЕЦ*