

Биохимия и молекулярная биология

*Лекция **6.** Катаболизм пищевых и
тканевых липидов*

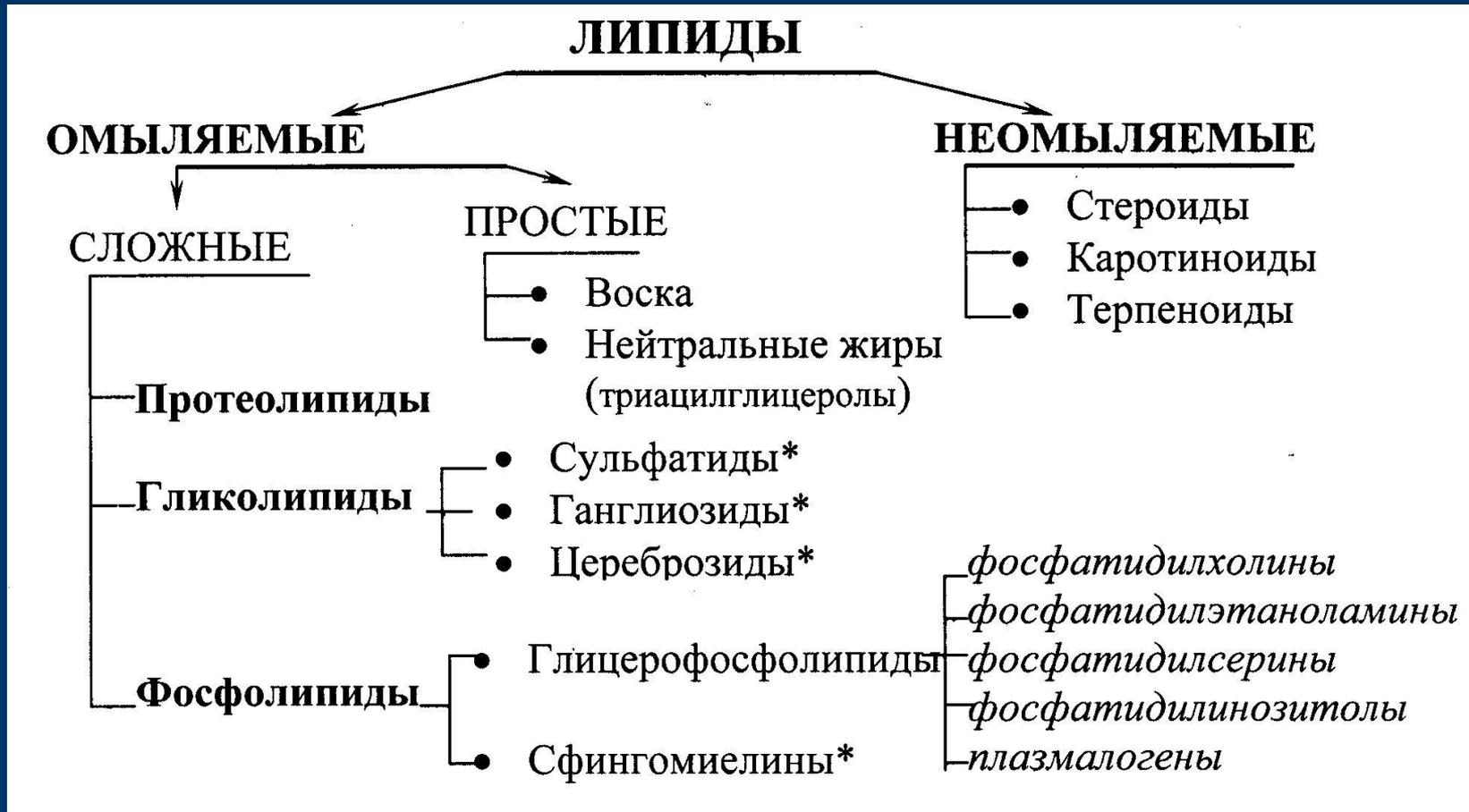
План лекции

- Липолитические ферменты
- Эмульгирование липидов
- Расщепление пищевых липидов
- Транспорт липидов из кишечника
- Расщепление тканевых триацилглицеринов

Липидами называют органические вещества биологической природы, нерастворимые в воде, и растворимые в неполярных органических растворителях, таких, как хлороформ, эфир или бензол.

Класс липидов объединяет обширную группу веществ, имеющих разную структуру и биологические функции.

Классификация липидов

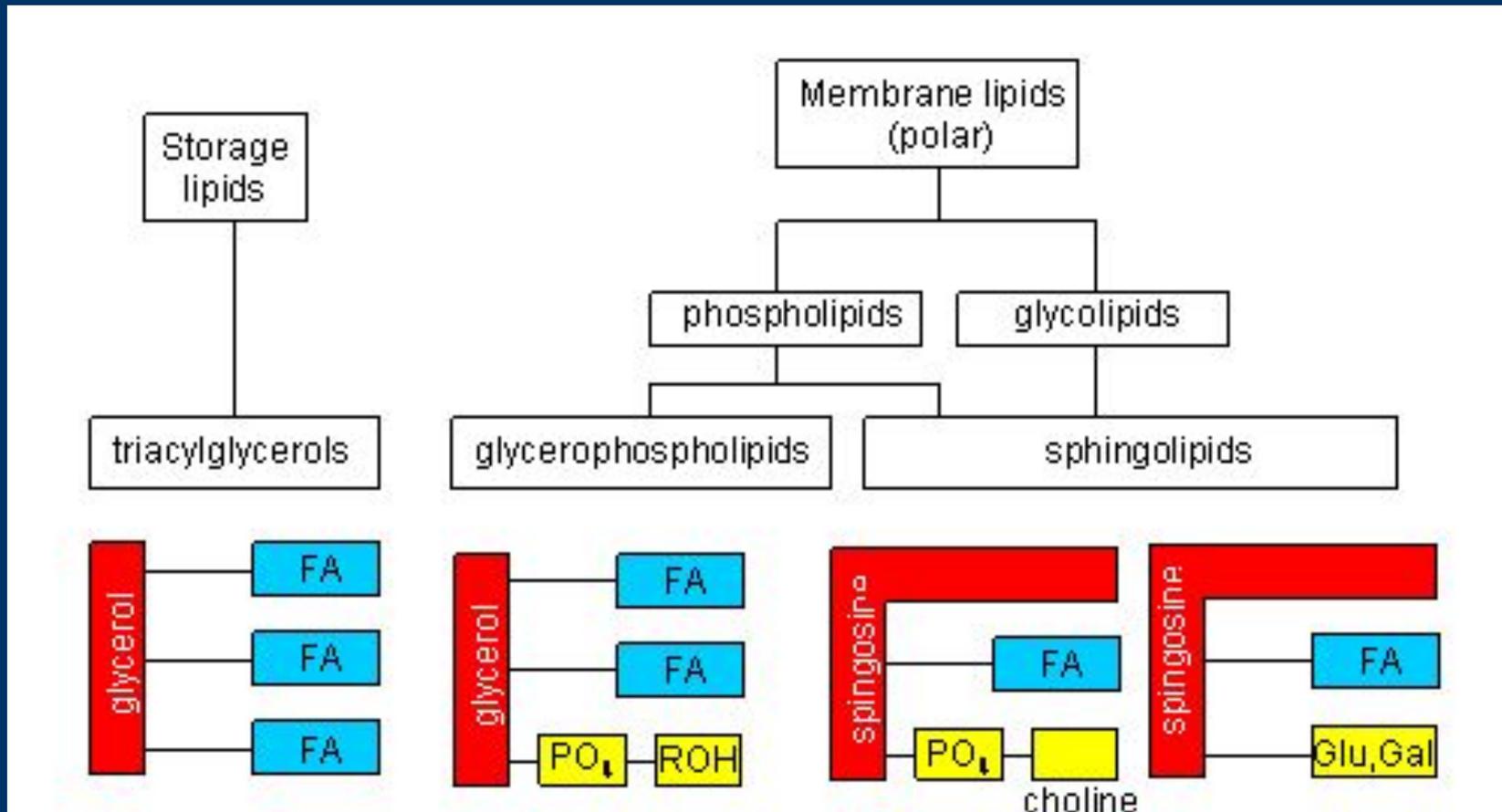


Классификация липидов

По способности к гидролизу подавляющее большинство липидов можно отнести либо к омыляемым, либо к неомыляемым.

Омыляемые липиды – это липиды, содержащие остатки жирных кислот, которые при гидролизе в присутствии KOH или NaOH подвергаются омылению, т.е. из остатков жирных кислот образуются мыла (соли жирных кислот). Неомыляемые липиды не содержат остатков жирных кислот и поэтому не способны образовывать мыла.

Классификация липидов



Функции липидов

- 1)** Структурная. Липиды являются наряду с белками структурными элементами мембран клеток и клеточных органелл.
- 2)** Энергетическая. При окислении **1** г жира выделяется **39,1** кДж энергии, т.е. в **2** раза больше, чем при расщеплении **1** г углеводов (**16,1** кДж). Кроме того, при окислении **100** г жира выделяется **105** г метаболической воды.
- 3)** Резервная. Липиды являются запасными питательными веществами, в форме которых депонируется метаболическое топливо.
- 4)** Защитная.
- 5)** Термоизоляционная.
- 6)** Регуляторная.

Жирные кислоты

Жирными кислотами (ЖК) называют производные алифатических углеводородов, содержащие COOH-группу.

ЖК различаются длиной цепи, наличием, числом и положением двойных связей, некоторые ЖК содержат заместители.

Жирные кислоты по степени ненасыщенности делят на **3** группы: насыщенные, моноеновые и полиеновые.



Нумерация углеродных атомов в жирной кислоте



Жирные кислоты

Наименование и структура наиболее часто встречающихся насыщенных жирных кислот

Символ	Тривиальное название	Систематическое название	Структура
C12:0	Лауриновая	Додекановая	CH₃(CH₂)₁₀COOH
C14:0	Миристиновая	Тетрадекановая	CH₃(CH₂)₁₂COOH
C16:0	Пальмитиновая	Гексадекановая	CH₃(CH₂)₁₄COOH
C18:0	Стеариновая	Октадекановая	CH₃(CH₂)₁₆COOH
C20:0	Арахидиновая	Эйкозановая	CH₃(CH₂)₁₈COOH
C22:0	Бегеновая	Докозановая	CH₃(CH₂)₂₀COOH
C24:0	Лигноцериновая	Тетракозановая	CH₃(CH₂)₂₂COOH

Жирные кислоты

Наименование и структура наиболее часто встречающихся ненасыщенных жирных кислот

Символ	Тривиальное название	Систематическое название	Структура
$C_{16:1;\Delta}^9$	Пальмито-олеиновая	9 -гексадеценовая	$CH_3(CH_2)_5CH=CH-(CH_2)_7COOH$
$C_{18:1;\Delta}^9$	Олеиновая	9 -октадеценовая ω 9 -октадеценовая	$CH_3(CH_2)_7CH=CH-(CH_2)_7COOH$
$C_{18:2;\Delta}^{9,12}$	Линолевая	9,12 -октадекадиеновая ω 6 -октадекадиеновая	$CH_3(CH_2)_4(CH=CHCH_2)_2(CH_2)_6-COOH$
$C_{18:3;\Delta}^{9,12,15}$	Линоленовая	9,12,15 -октадекатриеновая	$CH_3CH_2(CH=CHCH_2)_3(CH_2)_6-COOH$
$C_{20:4;\Delta}^{5,8,11,14}$	Арахидоновая	5,8,11,14 -эйкозатетраеновая	$CH_3(CH_2)_4(CH=CHCH_2)_4(CH_2)_2-COOH$

Полиеновые жирные кислоты

Полиненасыщенные жирные кислоты содержат от **2-х** и более двойных связей, разделенных метиленовой группой. Кроме отличий по количеству двойных связей, кислоты различаются их положением относительно начала цепи (обозначается через греческую букву Δ "дельта") или последнего атома углерода цепи (обозначается буквой ω "омега").

По положению двойной связи относительно последнего атома углерода полиненасыщенные жирные кислоты делят на ω **9**, ω **6** и ω **3**-жирные кислоты.

Полиеновые жирные кислоты

ω 6-жирные кислоты:

линолевая (C18:2, Δ 9,12),

γ -линоленовая (C18:3, Δ 6,9,12),

арахидоновая (эйкозотетраеновая, C20:4, Δ 5,8,11,14).

ω 3-жирные кислоты:

α -линоленовая (C18:3, Δ 9,12,15),

тимнодоновая (эйкозопентаеновая, C20:5, Δ 5,8,11,14,17),

крупанодоновая (докозопентаеновая, C22:5, Δ 7,10,13,16,19),

цервоновая (докозогексаеновая, C22:6, Δ 4,7,10,13,16,19).

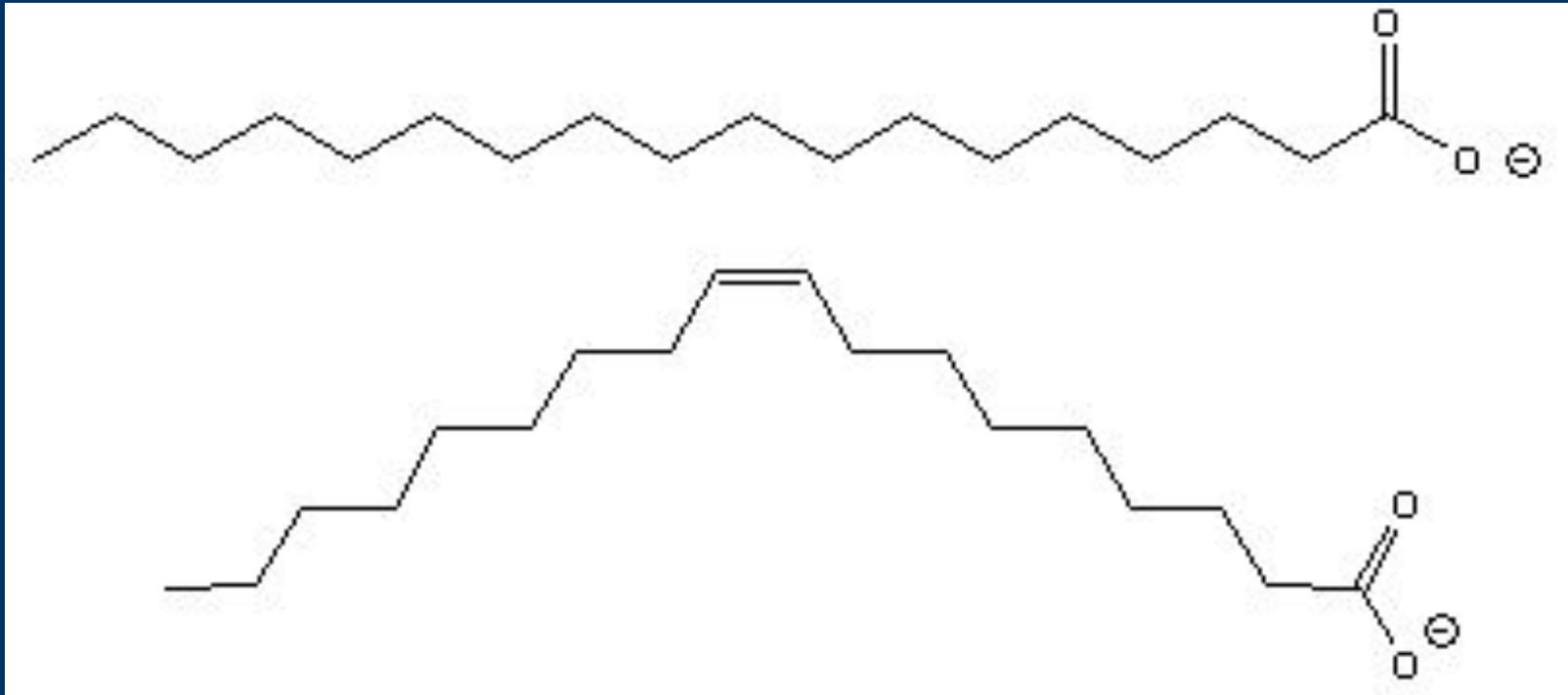
Жирные кислоты

Двойные связи в природных ЖК находятся в цис-конформации.

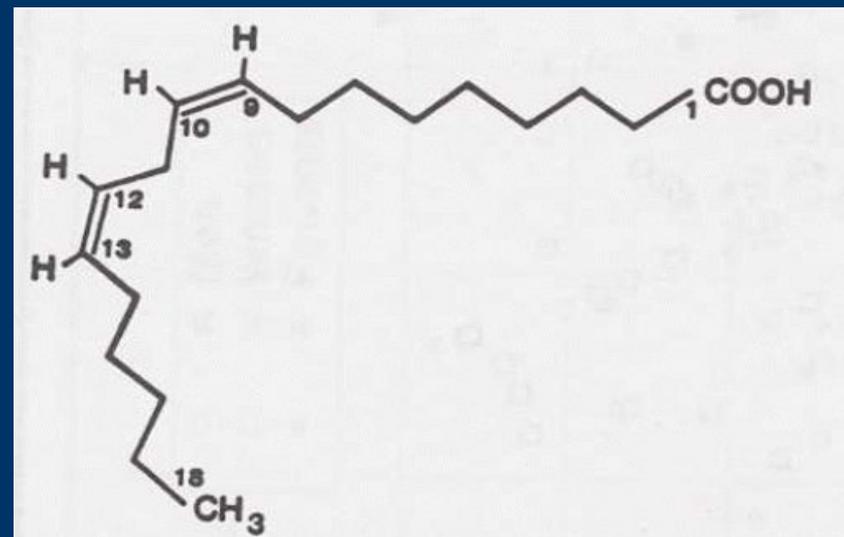
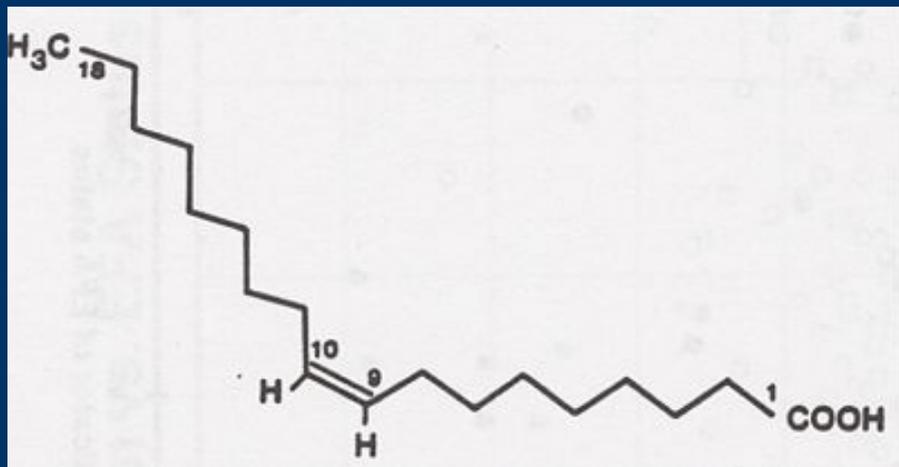
Цис-конформация двойной связи приводит к сильному изгибу алифатической цепи. При наличии нескольких двойных связей цепь приобретает изогнутый и укороченный вид, что способствует более компактной ее упаковке в мембранах клетки, липопротеиновых комплексах и т.д.

У насыщенных ЖК конформация углеводородной цепи имеет вид зигзагообразной линии.

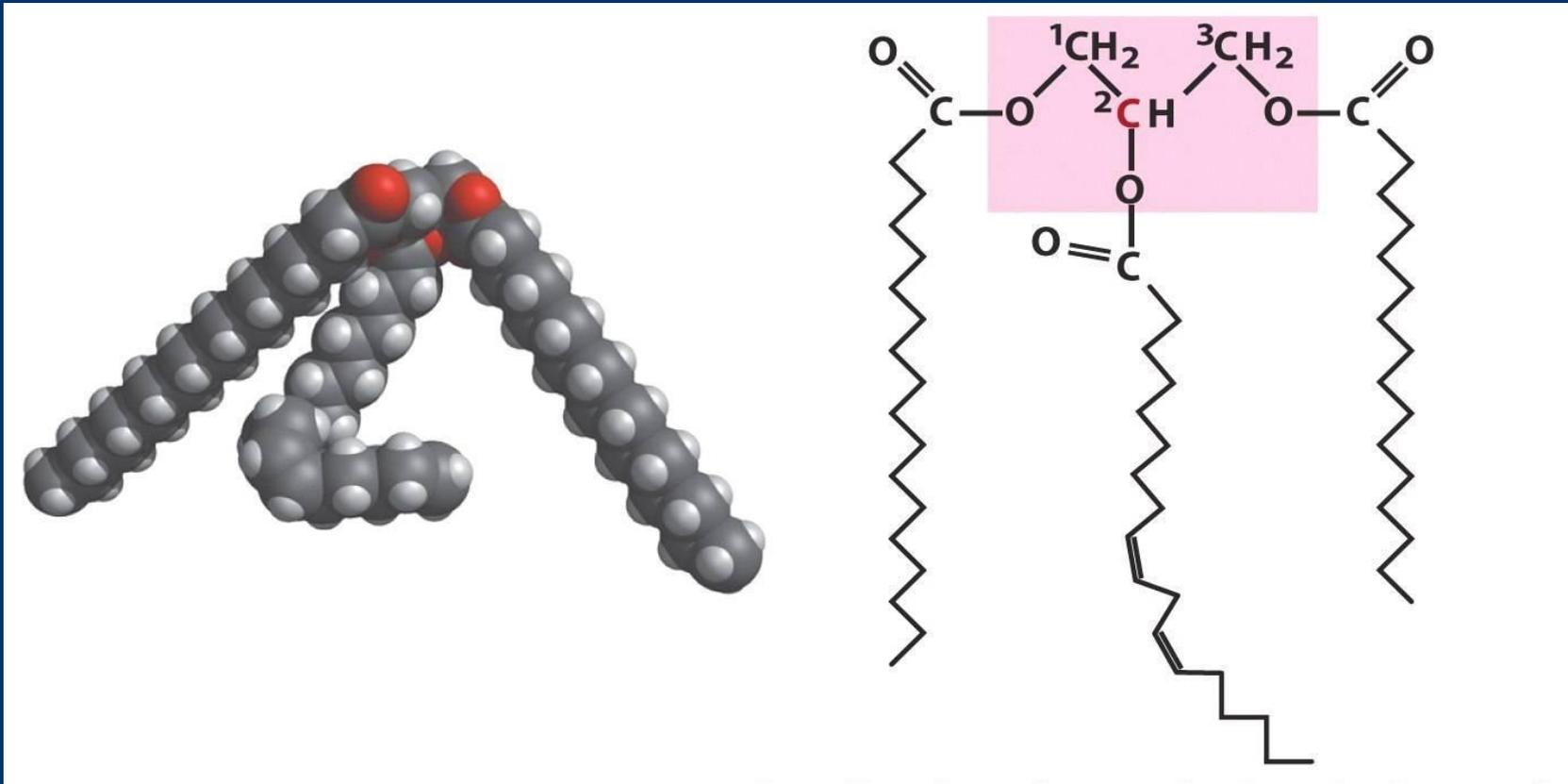
Структура стеариновой ($C_{18:0}$) и олеиновой ($C_{18:1}$) кислот



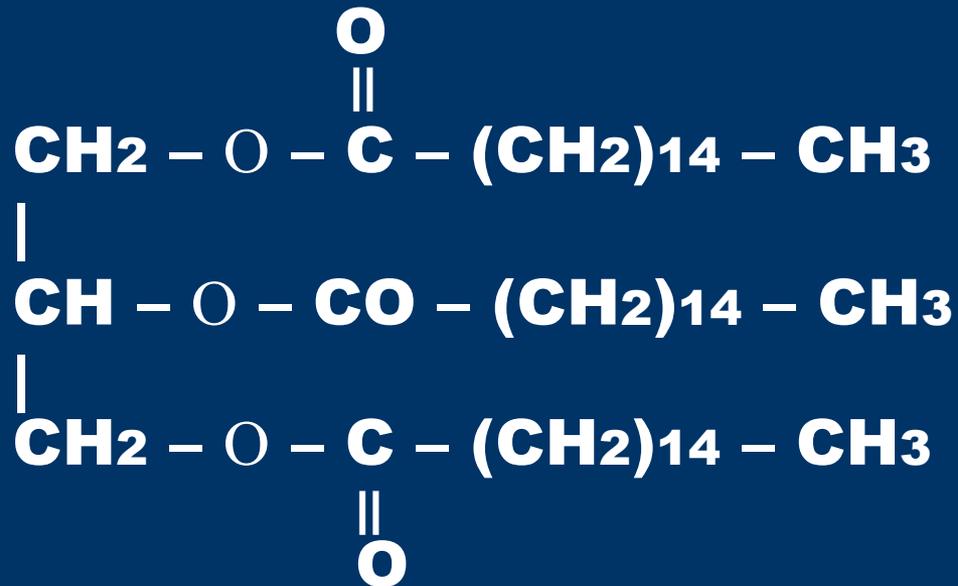
Олеиновая и линолевая жирные кислоты



Триацилглицерины

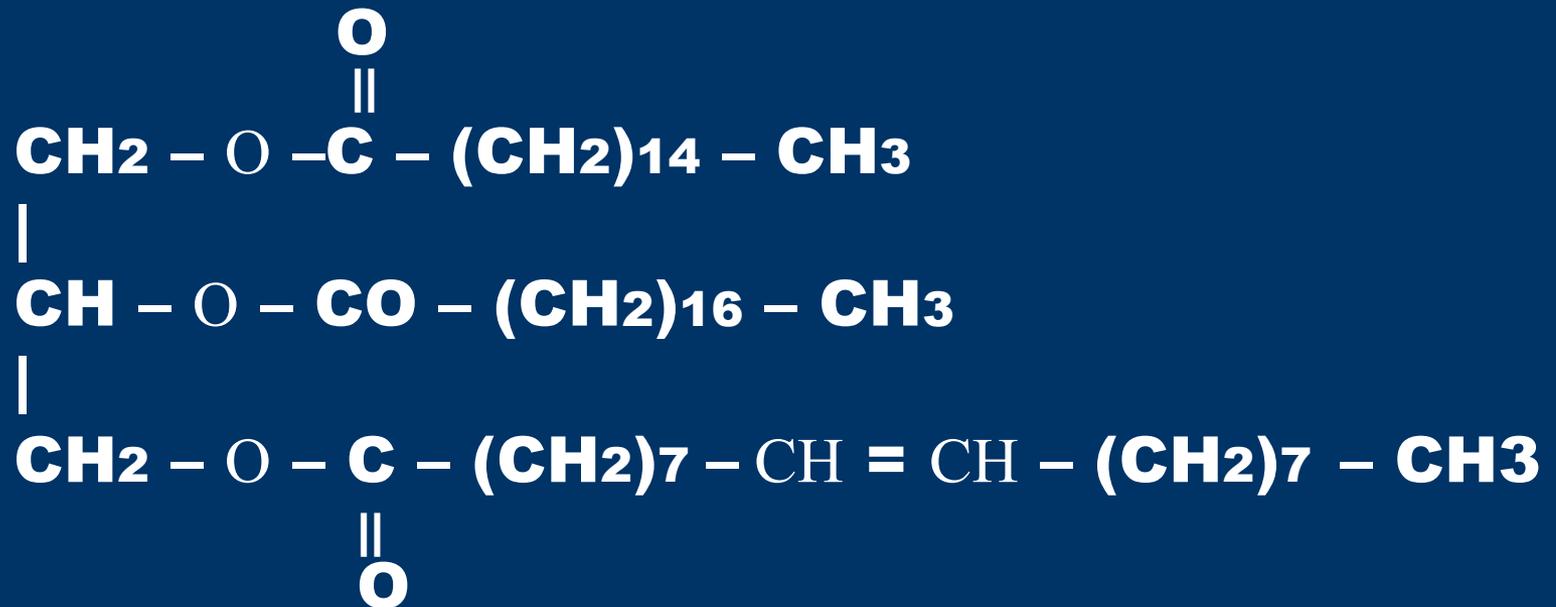


Простой триацилглицерол



Трипальмитин

Смешанный триацилглицерол



Пальмитостеаролеин

Расщепление липидов

- Взрослый человек должен потреблять около **100 – 150** г липидов в сутки. **40%** энергии, необходимой организму обеспечивается липидами.
- Главными пищевыми липидами являются триацилглицерины (триглицериды), которые составляют большую часть жиров и масел (**90%**), диета содержит также холестерин и фосфолипиды.

Липолитические ферменты

1. Липазы.

- Лингвальная липаза.
- Липаза желудка.
- Панкреатическая липаза.

2. Фосфолипазы.

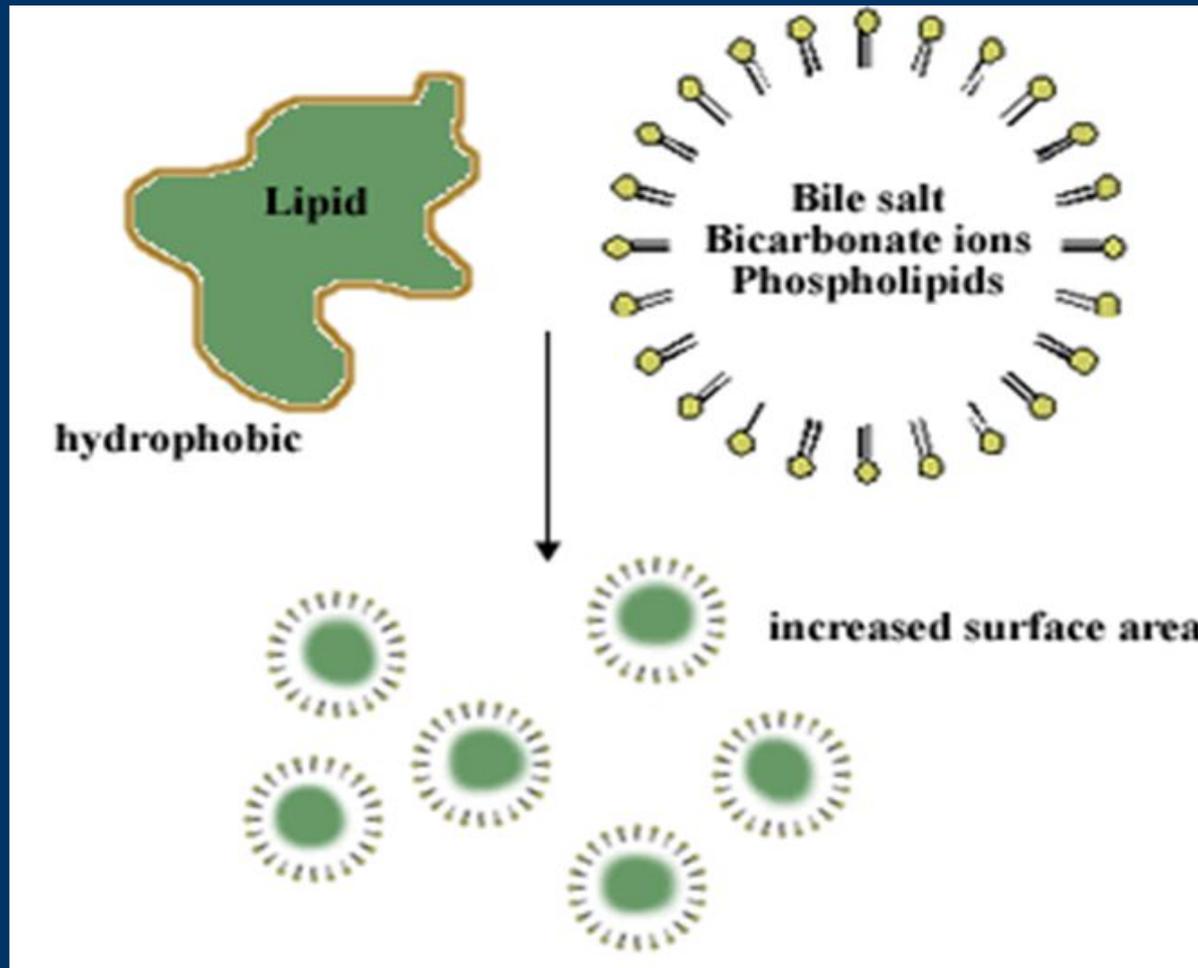
3. Сфингомиелиназы.

4. Холестеринэстеразы.

Липолитические ферменты относятся к классу гидролаз.

Этапы расщепления пищевых липидов

Эмульгирование липидов

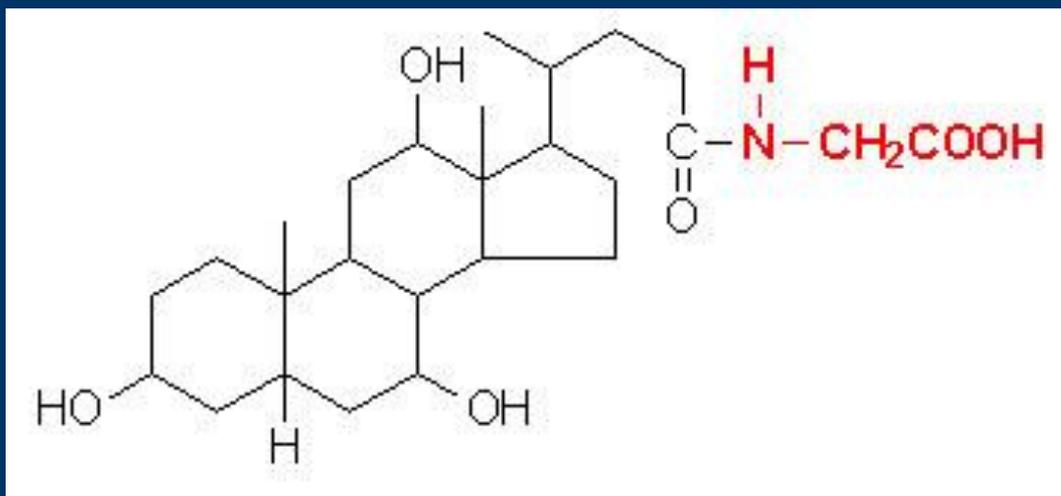


Липолитические ферменты

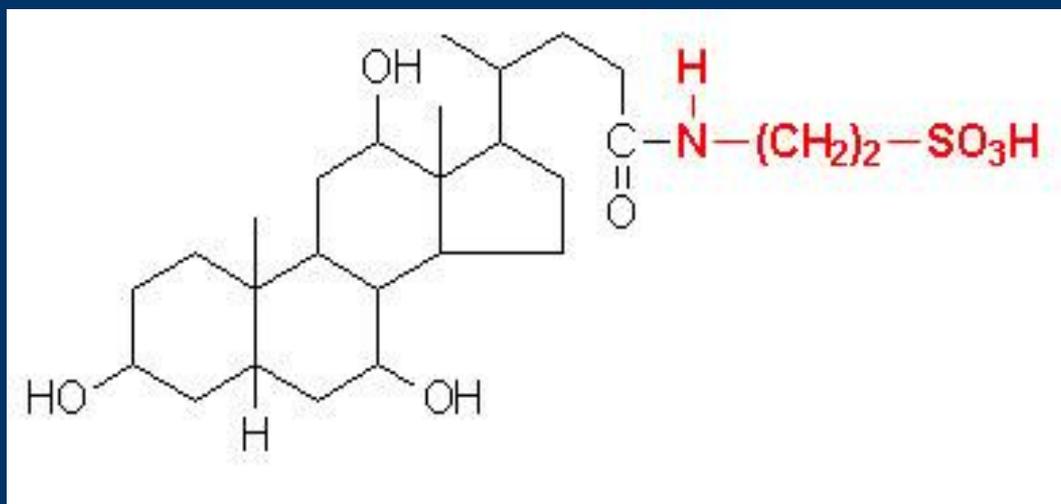
Для расщепления липидов пищи, кроме ферментов, необходимы желчные кислоты, которые синтезируются в печени, поступают в желчный пузырь, а из него – в тонкий кишечник, где происходит основное расщепление пищевых липидов.

Желчные кислоты участвуют в эмульгировании липидов, активации панкреатической липазы, образовании смешанных мицелл из продуктов переваривания липидов.

Желчные кислоты



Гликохолевая
кислота



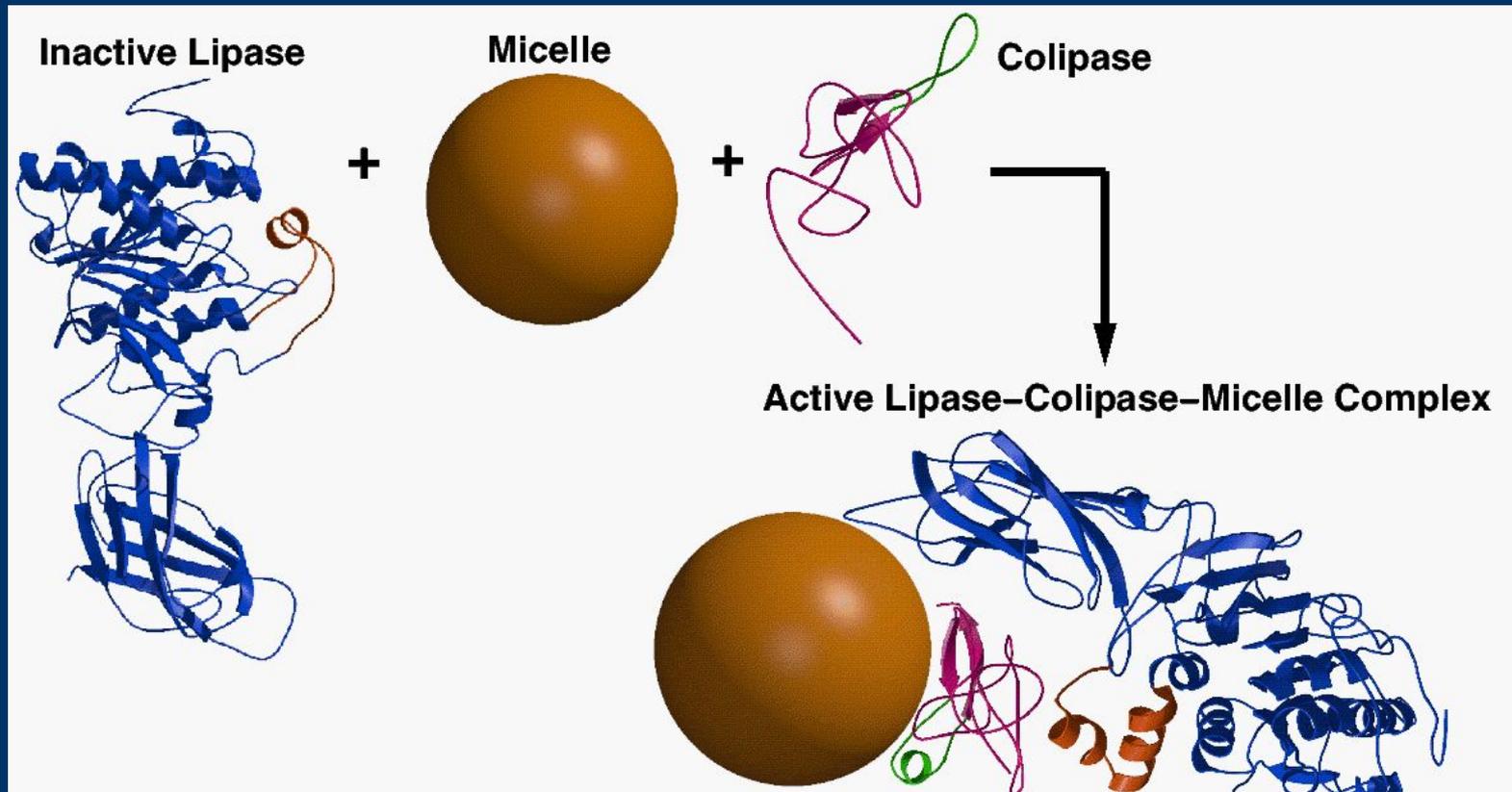
Таурохолевая
кислота

Панкреатическая липаза

- 1.** Панкреатическая липаза секретируется ПЖЖ, является главной липазой, участвующей в расщеплении пищевых липидов в ЖКТ человека и животных.
- 2.** Катализирует реакцию
$$\text{ТАГ} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{МАГ} + 2 \text{ жирные кислоты.}$$
- 3.** Активируется в присутствии колипазы и желчных кислот.

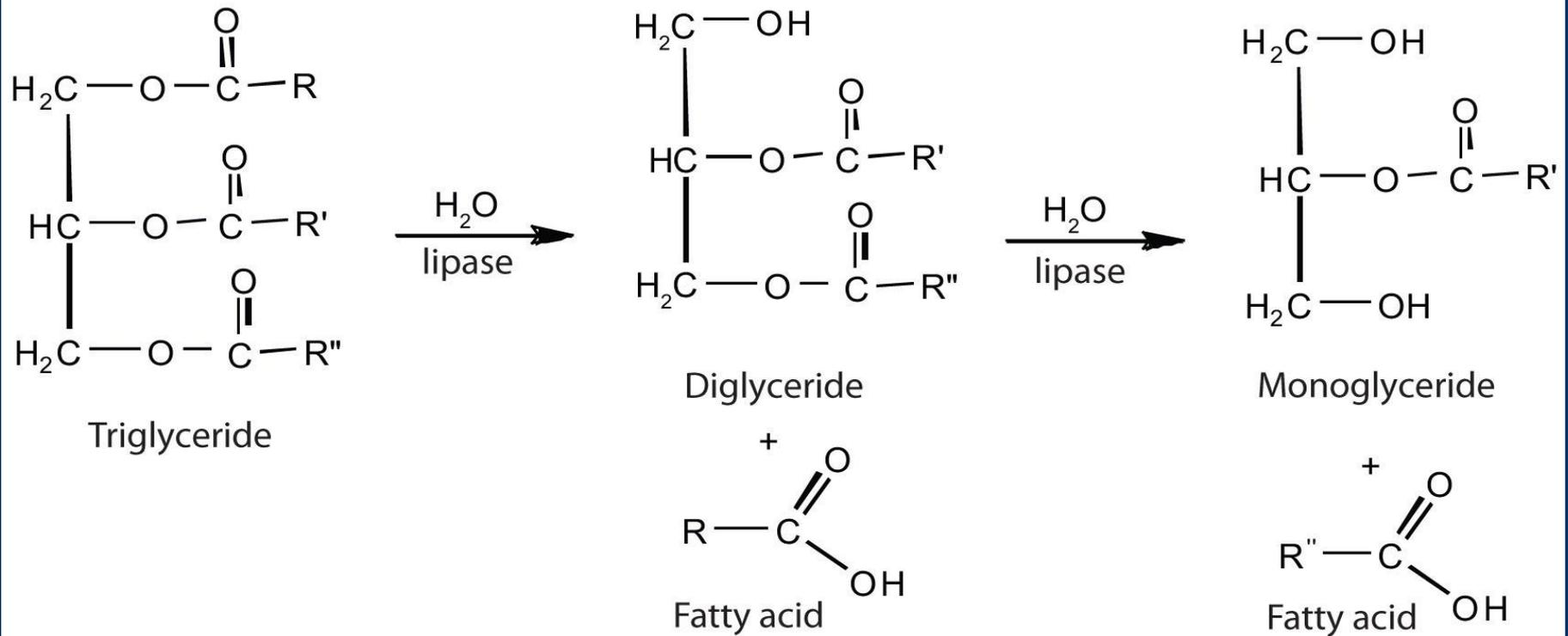
Этапы расщепления пищевых липидов

Взаимодействие неактивной панкреатической липазы, мицеллы и колипазы



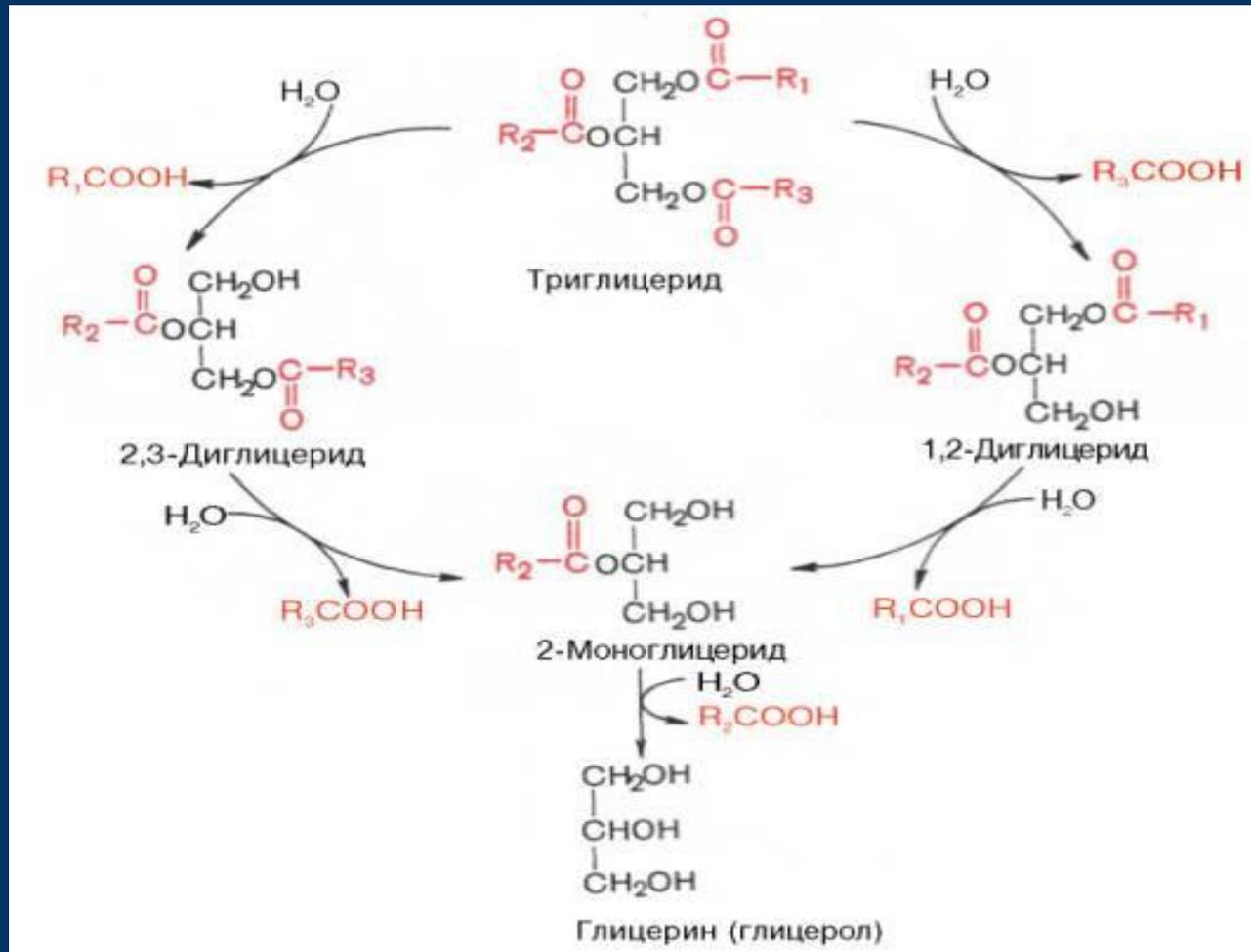
Этапы расщепления пищевых липидов

Расщепление триацилглицерина панкреатической липазой



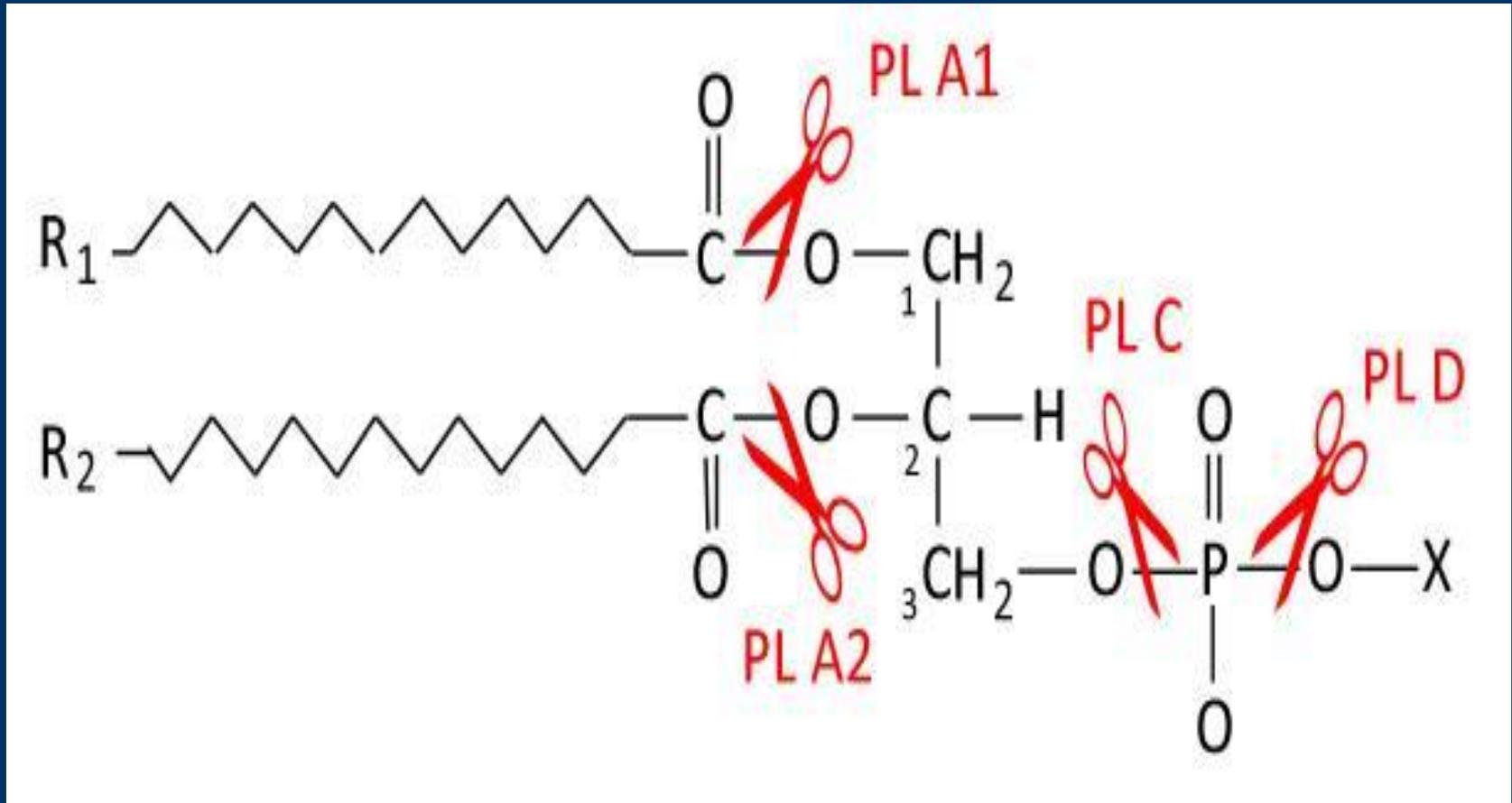
Этапы расщепления пищевых липидов

Расщепление триацилглицеринов

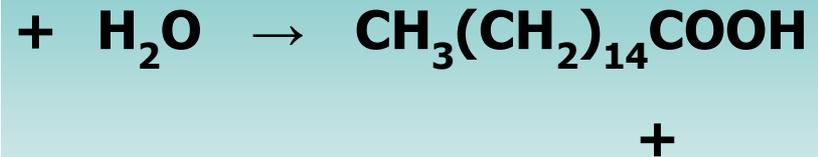
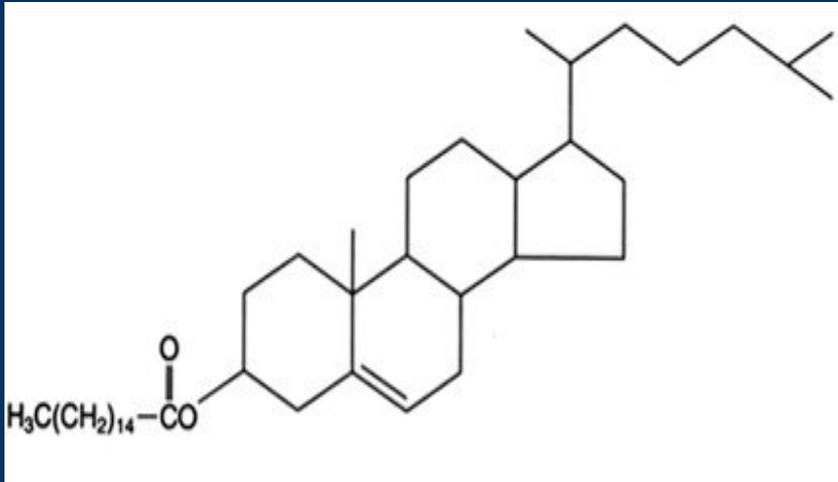


Этапы расщепления пищевых липидов

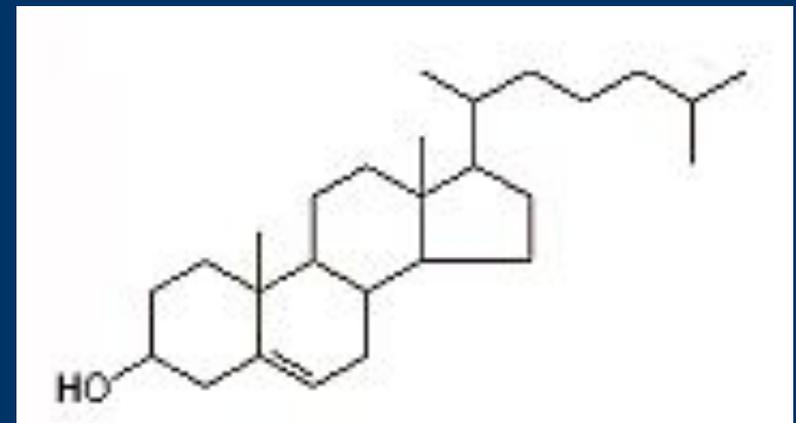
Расщепление фосфолипида
фосфолипазой A₁, A₂, C и D



Этапы расщепления пищевых липидов



Расщепление эфира холестерина
холестеринэстеразой



холестерол

Активность фермента проявляется в присутствии желчных
КИСЛОТ.

Адсорбция липидов

Конечными продуктами расщепления пищевых липидов являются:

- моноацилглицерины;
- жирные кислоты с различной длиной углеводородной цепи;
- глицерин;
- лизофосфолипиды;
- холестерин.

Адсорбция липидов

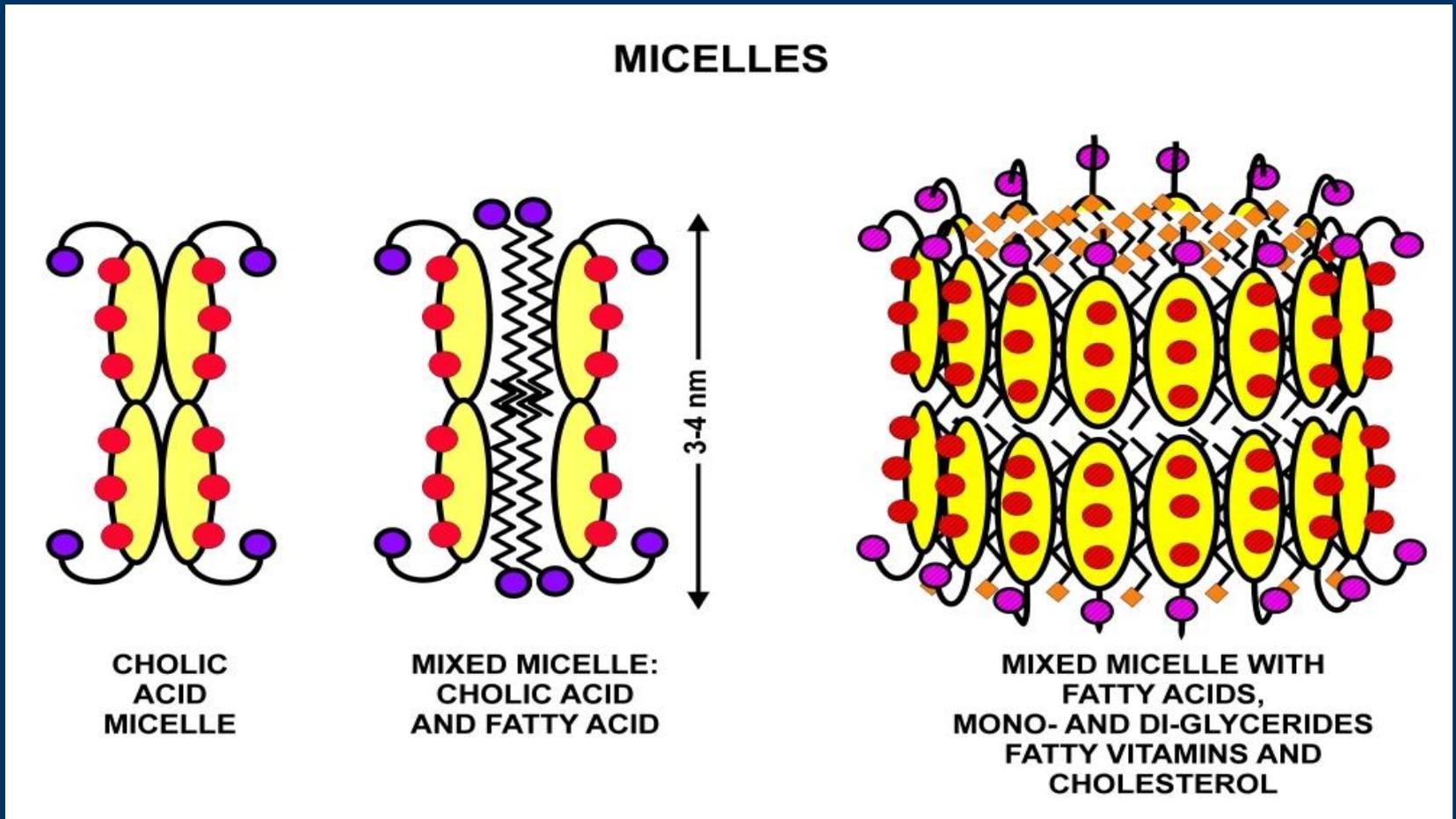
Короткоцепочечные жирные кислоты и глицерин растворимы в воде и проходят через портальную вену в печень.

Другие липиды нерастворимы в воде. Они комбинируются с желчными солями с образованием водорастворимых комплексов — мицелл, которые поступают в энтероциты.

Желчные соли реабсорбируются и вновь поступают в печень.

Этапы расщепления пищевых липидов

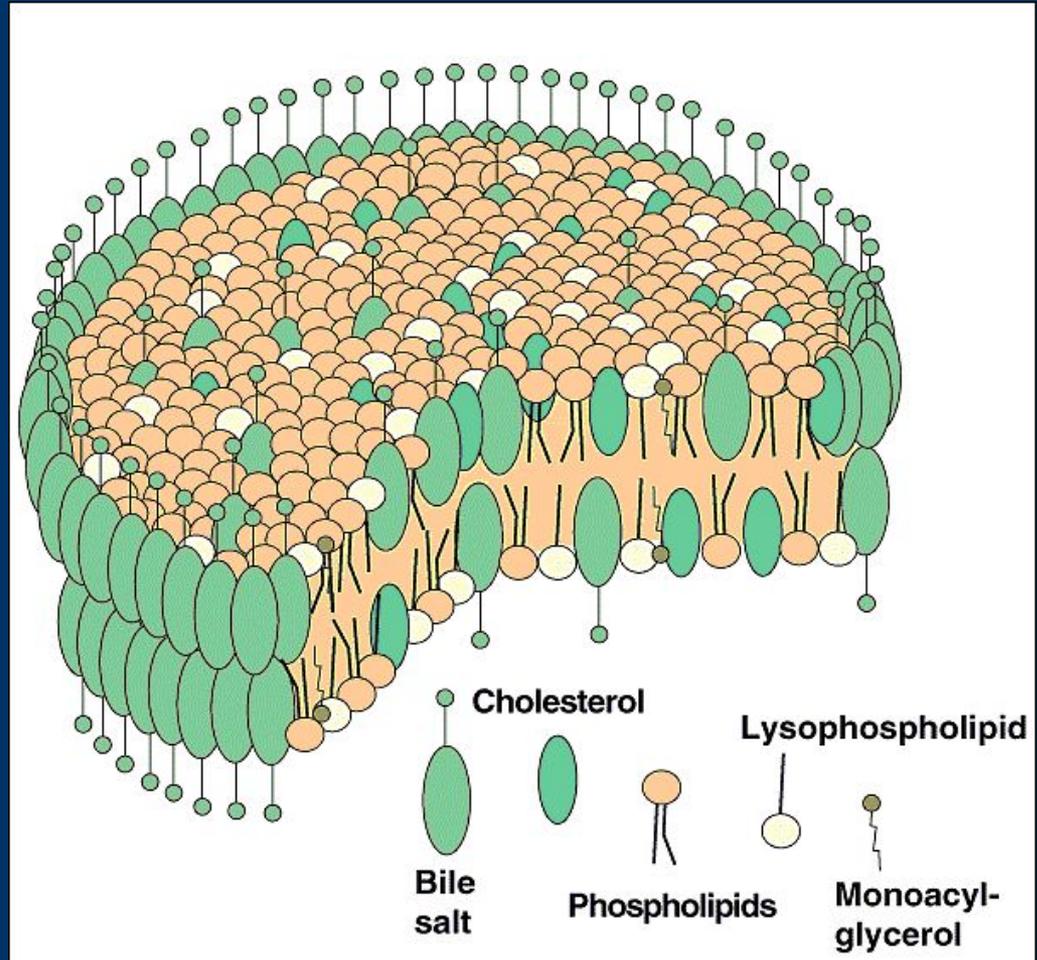
Строение мицелл



Этапы расщепления пищевых липидов

Строение смешанной мицеллы

Смешанные мицеллы построены таким образом, что гидрофобные части молекулы обращены внутрь мицеллы, а гидрофильные - наружу.



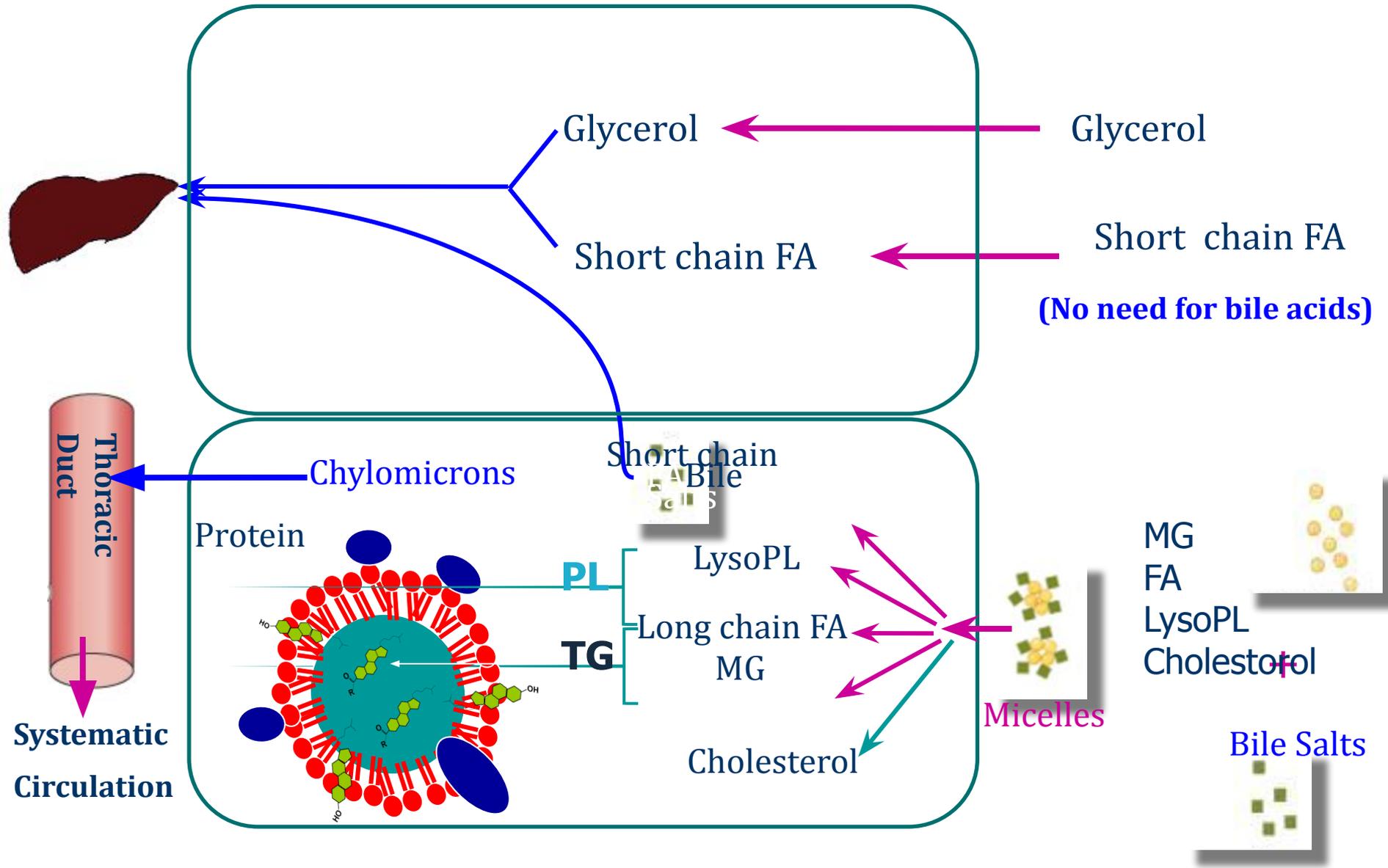
Этапы расщепления пищевых липидов

Значительная часть **2**-моноацилглицеролов, глицерола и свободных длинноцепочечных ЖК, освободившихся при гидролизе липидов, используется для ресинтеза триацилглицеролов. Первая стадия - реакция активации ЖК, которая катализируется ферментом ацил-КоА-синтетазой (тиокиназой). Затем образовавшийся ацил~КоА при участии ферментов ацилтрансфераз взаимодействует с **2**-МАГ с образованием сначала ДАГ, а затем ТАГ.

В энтероцитах, наряду с ресинтезом триацилглицеролов, происходит также ресинтез фосфолипидов и эфиров холестерина.

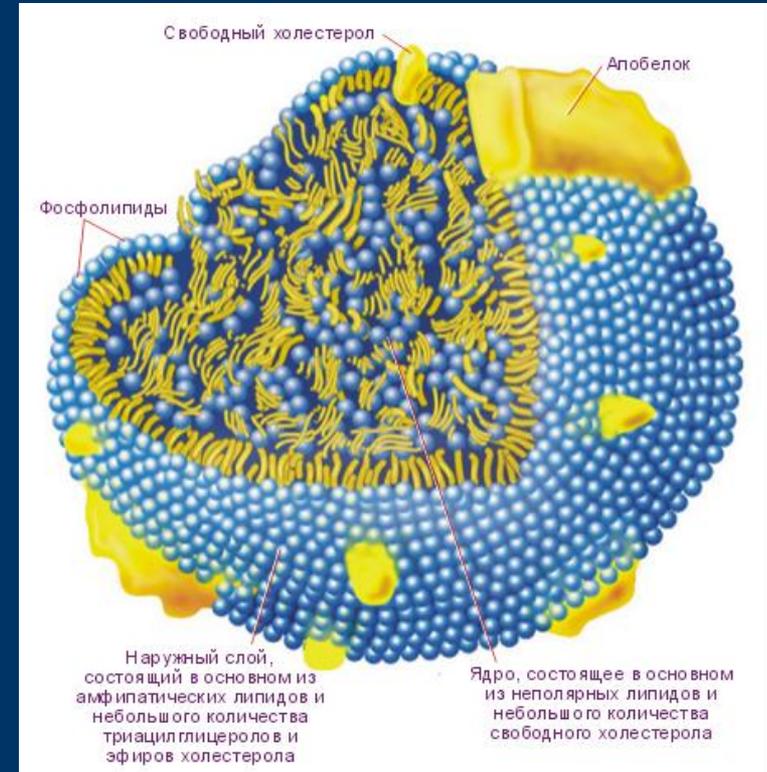
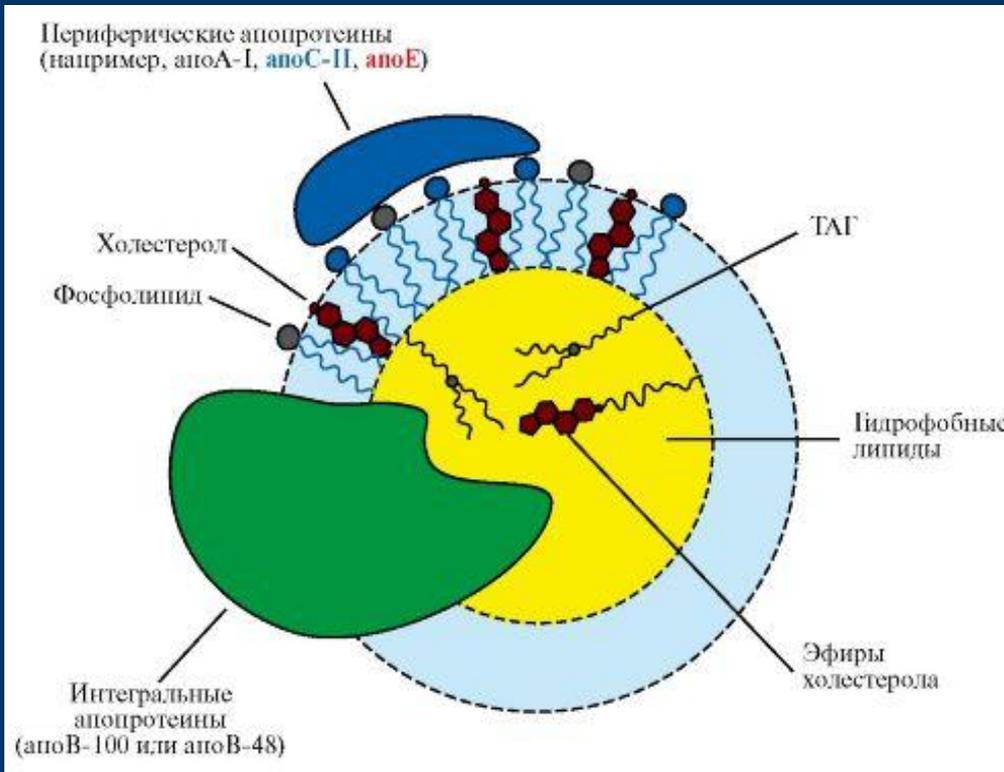
INTESTINAL WALL

LUMEN

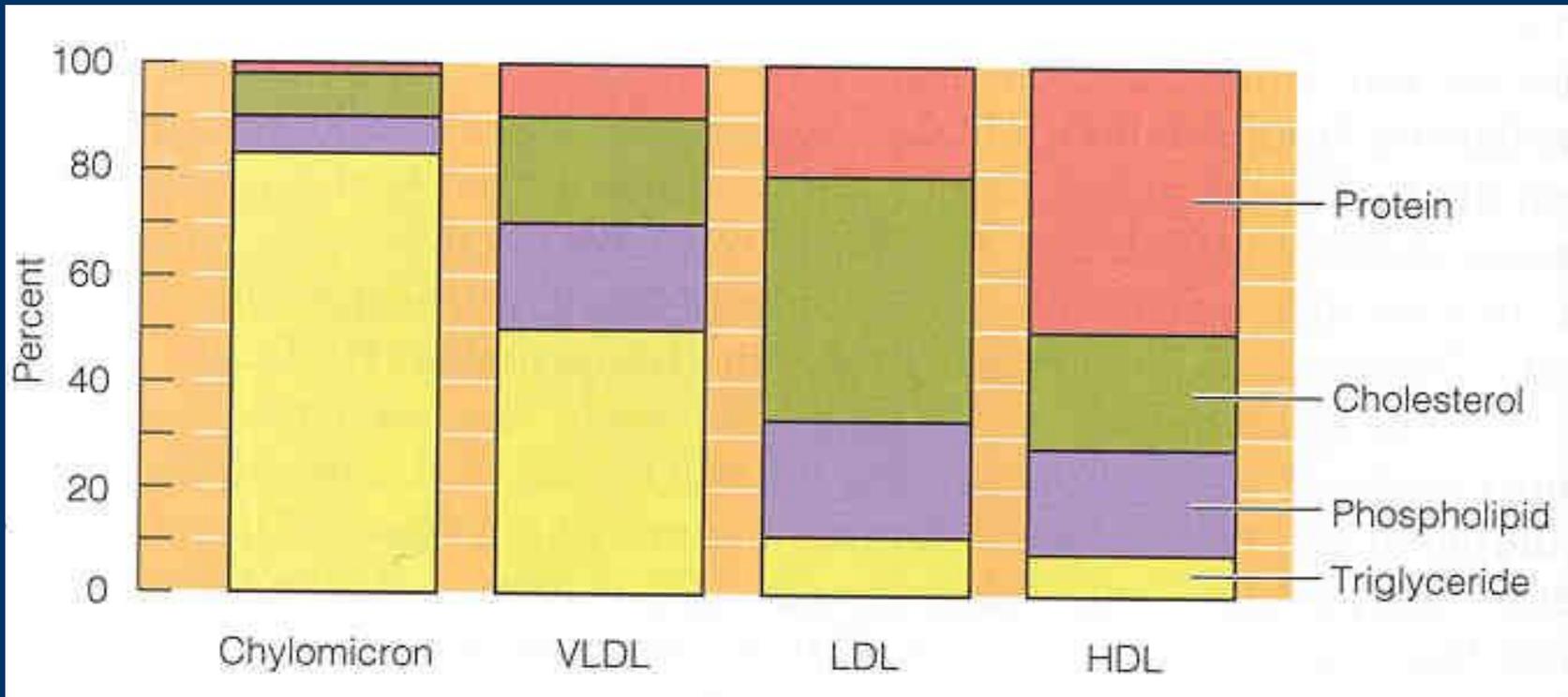


Absorption of lipids

Строение хиломикрона

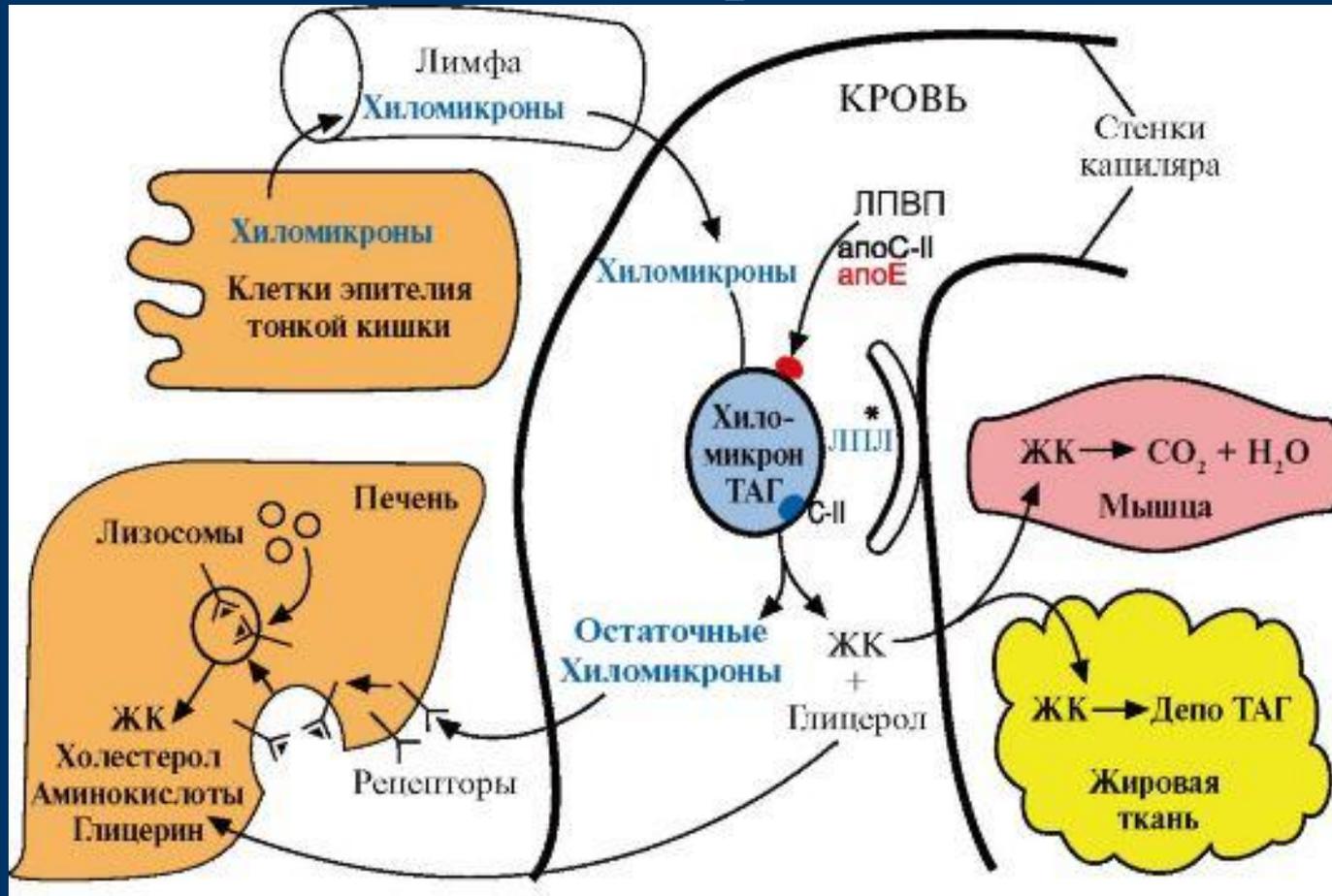


Лipoproteины плазмы крови



VLDL – липoproteины очень низкой плотности; **LDL** – липoproteины низкой плотности; **HDL** - липoproteины высокой плотности.

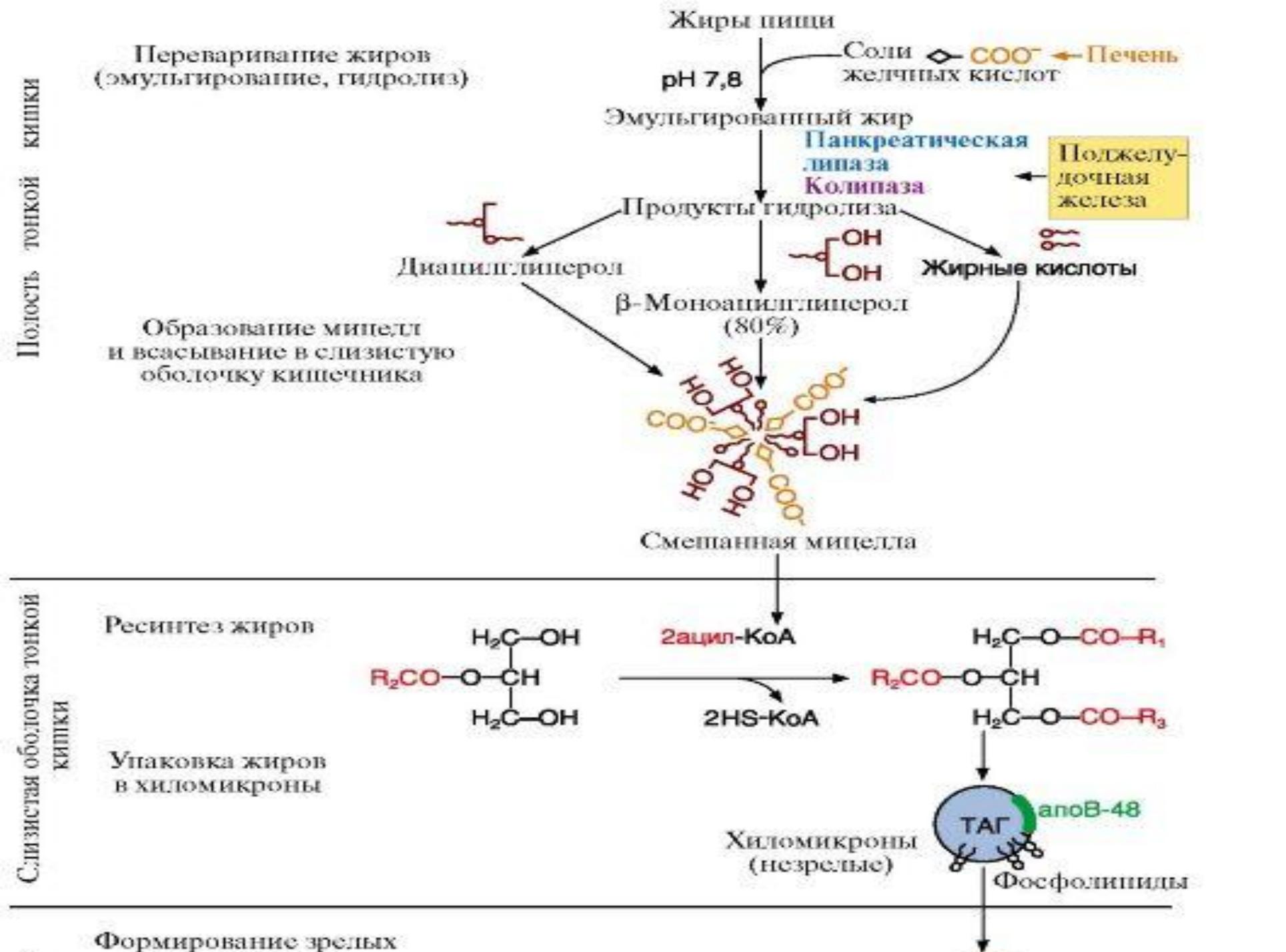
Путь экзогенных жиров и хиломикронов



Взаимодействие хиломикрона с липопротеинлипазой



На поверхности хиломикронов различают **2** фактора, необходимых для активности липопротеинлипазы - апоС-II и фосфолипиды. АпоС-II активирует фермент, а фосфолипиды участвуют в связывании фермента с поверхностью ХМ.



Мобилизация жиров из жировой ткани

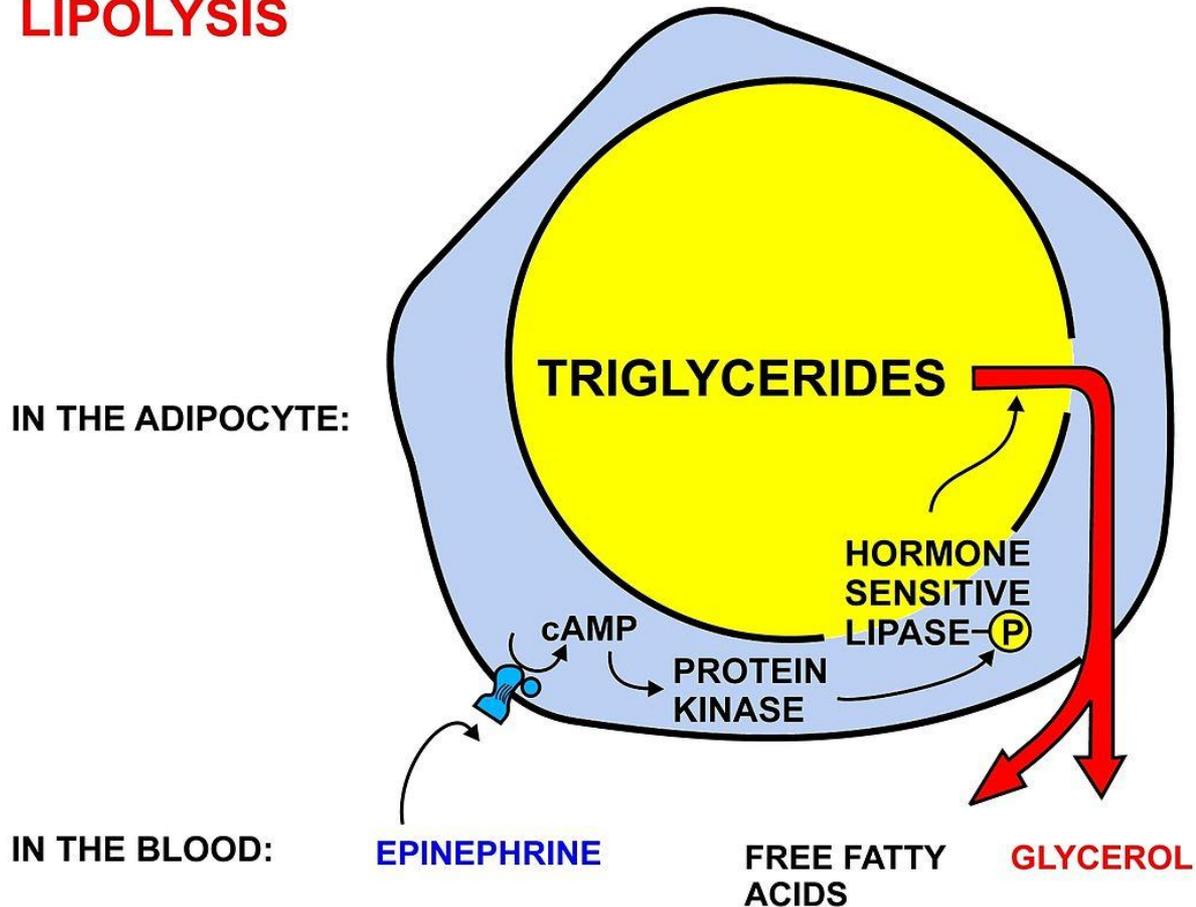
Ацилглицеринлипазы адипоцитов

- **Триацилглицеринлипаза (гормон-чувствительная)**
- **Диацилглицеринлипаза (гормон-чувствительная)**
- **Моноацилглицеринлипаза**

Расщепление тканевых триацилглицеринов

Липолиз в адипоците

LIPOLYSIS



Расщепление тканевых триацилглицеролов

Регуляция гормончувствительной липазы В адипоцитах

