



# **ЛЕКЦИЯ 3**

## **ВЫСШИЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ**

## **ЛИПИДЫ**

## **БИОМЕМБРАНЫ**

**Липиды** – большая группа природных биологически активных соединений разнообразного строения (и свойств), которые являются **липофильными (гидрофобными)**, т.е. хорошо растворяются в неполярных органических растворителях и не растворяются в воде.

**Высшие жирные кислоты (ВЖК)** – карбоновые кислоты с длинным углеродным скелетом ( $C_{12}-C_{26}$ ) неразветвленного строения, обладающие всеми физико-химическими свойствами карбоновых кислот – обязательный компонент омыляемых липидов.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИПИДОВ

По признаку способности к гидролизу:

1. **Неомыляемые** (не гидролизуются – холестерин и стероиды, эйкозаноиды  $C_{20}$ , каротиноиды, жирорастворимые витамины А, D, Е, К и др. изопреноиды (терпены и терпеноиды)).
2. **Омыляемые** (гидролизуются)
  - 2.1. Простые (гидролизуются на соединения 2 химических классов)
    - триглицериды (жиры и масла)
    - эфиры холестерина и конъюгированные желчные кислоты
    - церамиды
    - воска и прочие
  - 2.2. Сложные (гидролизуются на соединения более 2 химических классов)
    - фосфолипиды (глицерофосфолипиды)
    - сфингомиелины
    - гликолипиды (ганглиозиды, цереброзиды и др.)
3. **ВЖК** - обязательный структурный компонент омыляемых липидов, с сильными щелочами образуют мыла.

# ВЖК

Классифицируются на **насыщенные** и **ненасыщенные** (1 – 6 двойных связей).

Насыщенные ВЖК – твердые воскообразные вещества с т.пл. ниже  $100^{\circ}\text{C}$ , нерастворимые в воде, растворимые в малополярных органических растворителях.

Ненасыщенные ВЖК – жидкие маслообразные вещества, не смешиваются с водой и не растворяются в ней, растворимы в малополярных органических растворителях.

## Структурные особенности:

- четное количество атомов углерода, неразветвленный углеродный скелет
- у ненасыщенных – цис-конфигурации всех двойных связей
- полиненасыщенные – несопряженные

# ВАЖНЕЙШИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ ВЖК

## Насыщенные:

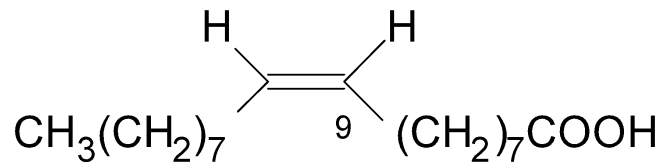
Пальмитиновая (пальмитат)  $C_{16}$   $C_{15}H_{31}COOH$   $CH_3(CH_2)_{14}COOH$

Стеариновая (стеарат)  $C_{18}$   $C_{17}H_{35}COOH$   $CH_3(CH_2)_{16}COOH$

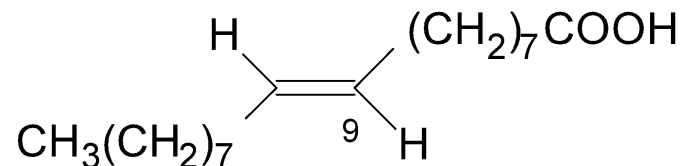
Арахидиновая  $C_{20}$   $C_{19}H_{39}COOH$   $CH_3(CH_2)_{18}COOH$

## Ненасыщенные:

Олеиновая (олеат)  $C_{18} : 1, \Delta 9$   $C_{17}H_{33}COOH$

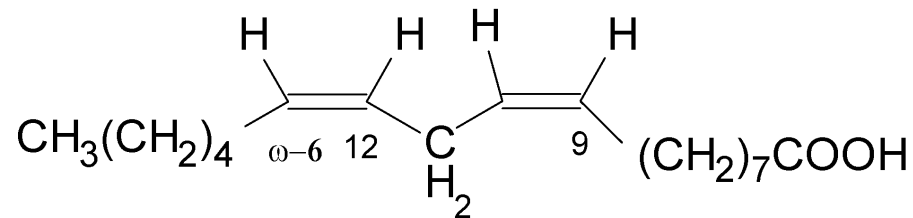


Элаидиновая  $C_{18} : 1, \Delta 9$  (транс)  $C_{17}H_{33}COOH$

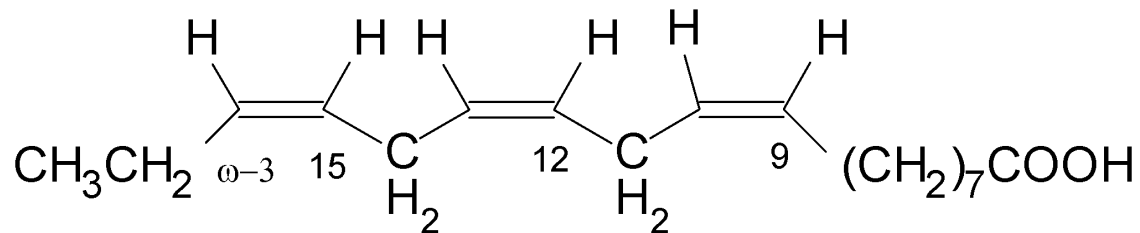


## Ненасыщенные (витамин F):

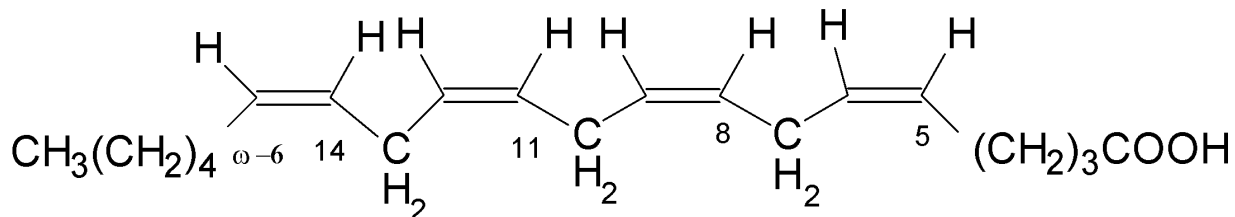
Линолевая (линолеат)  $C_{18}: 2, \Delta 9,12$   $C_{17}H_{31}COOH$  ( $\omega$ -6)



Линоленовая (линоленат)  $C_{18}: 3, \Delta 9,12,15$   $C_{17}H_{29}COOH$  ( $\omega$ -3)

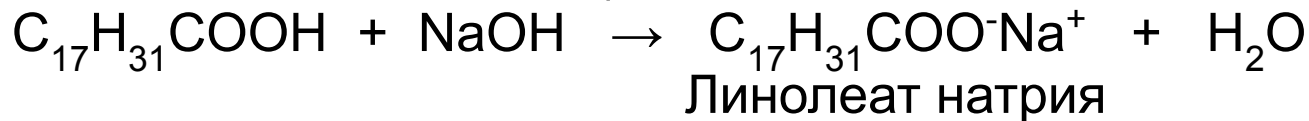


Арахидоновая (арахидонат)  $C_{20}: 4, \Delta 5,8,11,14$   
 $C_{19}H_{31}COOH$  ( $\omega$ -6)

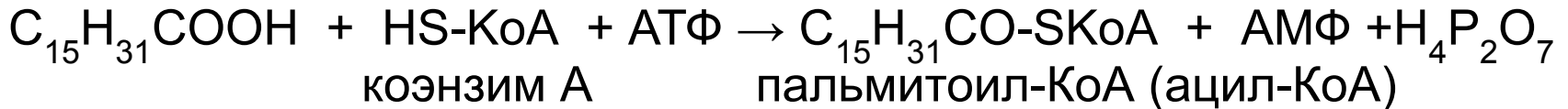


# ВАЖНЕЙШИЕ РЕАКЦИИ ВЖК

С сильными щелочами образуют соли – мыла (натриевые мыла – твердые, калиевые – жидкие):



В клетках образуют ацил-КоА:



Ацил-КоА аэробно окисляются до ацетил-КоА, а затем до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  с образованием АТФ.

Пальмитиновая, стеариновая, арахидоновая и олеиновая кислоты биосинтезируются из ацетил-КоА и малонил-КоА.

Из ацил-КоА образуются триглицериды и др. липиды



# БИОЗНАЧЕНИЕ ВЖК

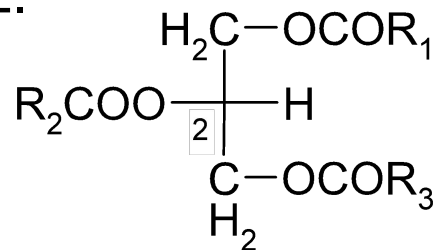
- Структурный компонент омыляемых липидов, содержится в липидах пищи и организма.
- Образуются при голодании организма из жиров, запасенных в жировой ткани. Имеются в плазме крови (голодание).
- Важнейший источник энергии для клеток при окислении в аэробных условиях (миокард, красные скелетные мышцы, почка, печень), высококалорийны.
- Ацил-КоА используются для синтеза триглицеридов, фосфолипидов, сфингомиелинов и др. липидов организма.
- Полиненасыщенные ВЖК – незаменимые (витамин F (5-10 г/сут)), содержатся в специализированных липидах нервной ткани, в составе фосфолипидов придают надлежащую текучесть и проницаемость клеточным мембранам, регулируют и нормализуют липидный обмен.
- Остатки полиненасыщенных ВЖК в липидах наиболее подвержены разрушительному действию процессов СРО и ПОЛ.
- Используются в лечебных целях – профилактика и лечение атеросклероза (линетол и препараты полиненасыщенных ВЖК).
- Транс-изомеры природных ВЖК (элаидиновая кислота) – чужеродные вещества, токсичны, содержатся в полусинтетических жирах (маргарин).



# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРИГЛИЦЕРИДОВ

**Триглицериды (ТГ)** (масла и жиры) – полные сложные эфиры (триэфиры) глицерина с ВЖК - жидкие (масла) или твердые (жиры) гидрофобные вещества.

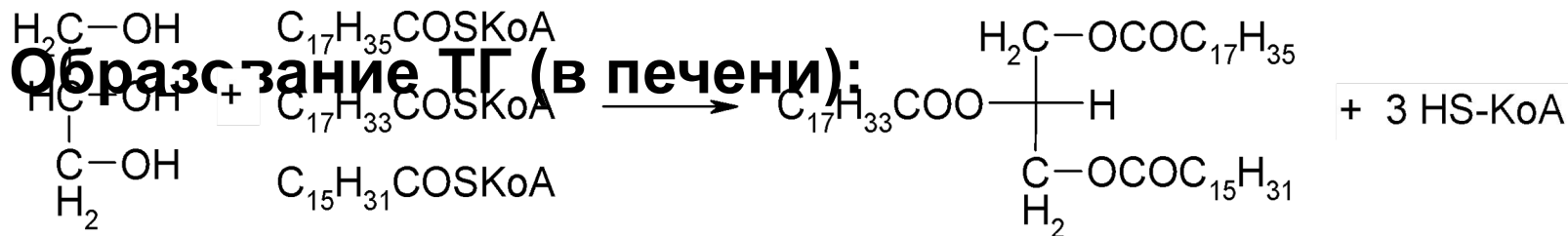
Природные ТГ хиральны (оптически активны), имеют L-конфигурацию у атома С-2.



Чем больше насыщенных групп R (и чем меньше двойных связей) в составе ТГ, тем выше его т.пл. В составе твердых жиров (т. пл. до 80°C) большинство остатков ВЖК – насыщенные. В составе жидких ТГ (масел) большая часть групп R – ненасыщенные.

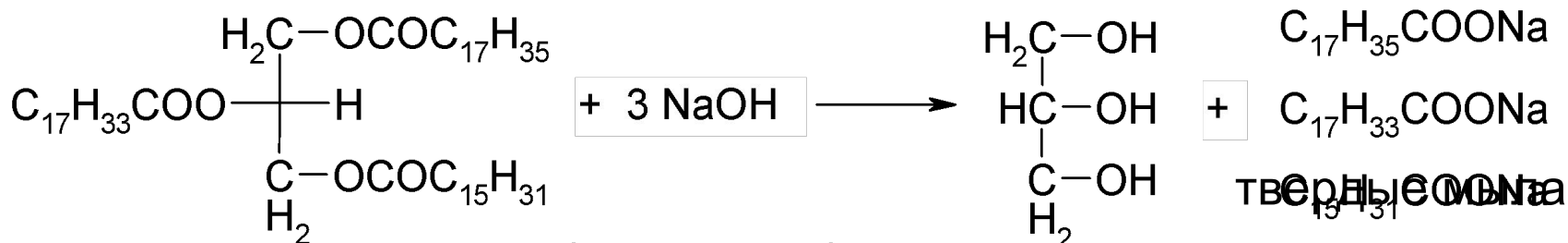
Качество растительных масел определяется количеством двойных связей в группах R ТГ с помощью **иодного числа**.

**Иодное число** – количество граммов иода, могущее прореагировать со 100 г масла (реакция  $A_E$ ).



1-стеароил-2-олеоилпальмитин

## Омыление ТГ in vitro:



Переваривание (гидролиз) ТГ в ЖКТ идет в слабощелочной среде (pH около 7,5).

Липолиз в жировой ткани – в нейтральной среде (образуются свободные ВЖК)

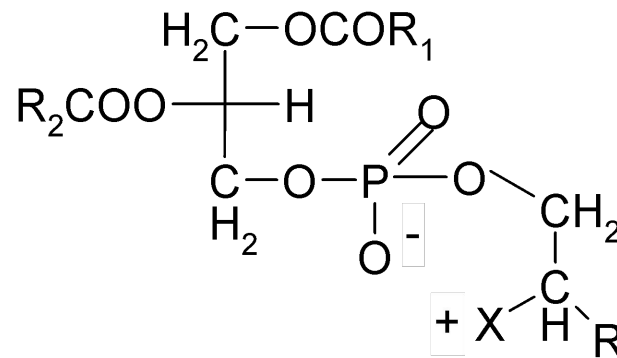
# БИОЗНАЧЕНИЕ ТРИГЛИЦЕРИДОВ

- Основной липидный компонент пищи человека (около 100 г/сут.).
- Биосинтезируются из глицерина и ацил-КоА (липогенез) и запасаются в жировой ткани на случай голодания (не менее 10 кг).
- При голодании расщепляются с образованием ВЖК и глицерина (липолиз).
- Содержатся в плазме крови в составе липопротеиновых фракций крови.
- Накапливаются в печени при снижении ее функции (стеатоз печени).

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОСФОЛИПИДОВ

**Фосфолипиды (ФЛ)** – твердые аморфные высокоплавкие вещества, амфифильны, умеренно растворимые в воде с образованием мицелл. Природные ФЛ хиральны (оптически активны), имеют L-конфигурацию у атома С-2.

Существует 3 главных группы ФЛ:



- 1) фосфатидилэтаноламины (коламинкефалины), где R = H, X = NH<sub>3</sub>
- 2) фосфатидилсерины (серинкефалины), где R = COOH, X = NH<sub>3</sub>
- 3) фосфатидилхолины (лецитины), где R = H, X = N(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>

Группа R<sub>1</sub> – насыщенная, а R<sub>2</sub> – ненасыщенная, чем больше двойных связей в R<sub>2</sub>, тем ниже его т.пл.



# БИОЗНАЧЕНИЕ ФОСФОЛИПИДОВ

- ◆ ФЛ – основные структурные компоненты липидного бислоя биомембран.
- ◆ Содержатся в плазме крови в составе липопротеиновых фракций крови.
- ◆ Содержатся в желчи, необходимы для эмульгирования ТГ пищи в кишечнике.
- ◆ Являются пищевыми эмульгаторами (лецитин).
- ◆ Лецитин обладает антиатеросклеротическим действием, замедляет развитие атеросклероза.

# СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ЛИПИДЫ НЕРВНОЙ ТКАНИ

К этой группе относятся сфинго- и гликолипиды:  
церамиды, сфингомиелины, ганглиозиды,  
цереброзиды и др.

В их молекулах содержатся:

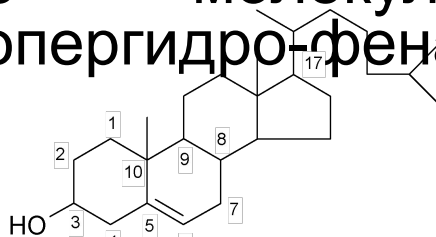
- аминоспирт сфингозин вместо глицерина
- много полиненасыщенных ВЖК (в основном незаменимые и длинноцепные  $C_{20} - C_{26}$  с 4 – 6 двойными связями).
- моносахаридные остатки в цереброзидах, олигосахаридные – в ганглиозидах.

Сфингомиелины содержат сфингозин, фосфорную кислоту, полиненасыщенные ВЖК, холин.

Биологические функции – структурная, рецепторная, сигнально-регуляторная (миелиновые оболочки нервов, ганглии).

# ХОЛЕСТЕРИН И ЕГО ЭФИРЫ

**Холестерин (ХС)** – важнейший стероид человека и животных, бесцветное воскообразное вещество, спирт, в основе молекулы лежит скелет цикlopентанопергидро-фенантрена.



- Биосинтезируется в организме (печень, мозг и др.) из ацетил-КоА (до 1 г/сут.).
- Поступает с животной жирной пищей (300 – 500 мг/сут).
- Его эфиры с ВЖК синтезируются из ХС и ацил-КоА.
- В организме человека содержится не менее 140 г. (клеточные мембраны и миелин (до 93%), плазма крови ( в основном эфиры ХС) (не менее 7%).
- В плазме крови, в жирах определяется реакцией Гупперт – Сальковского – конц.  $H_2SO_4$  в хлороформном растворе (характерная окраска).



# БИОЗНАЧЕНИЕ ХС

- Обязательный компонент биомембран и миелина.
- Модификатор вязкотекучих свойств биомембран.
- Исходное вещество для синтеза всех стероидов организма – желчных кислот, эфиров ХС, стероидных гормонов.
- В энергетических целях не используется.
- Из организма удаляется, в основном, в виде желчных кислот, немного в форме эфиров и метаболитов стероидных гормонов.
- При патологиях липидного обмена (избыточном накоплении ХС в организме) откладывается в сосудистой стенке – развивается атеросклероз; может образовывать желчные камни в желчном пузыре – желчекаменная болезнь.

# БИОЗНАЧЕНИЕ НЕОМЫЛЯЕМЫХ ЛИПИДОВ

- **Стероидные гормоны** (глюкокортикоиды (кортизол), минералокортикоиды (альдостерон), половые (андрогены (тестостерон), эстрогены (эстрадиол), гестагены (прогестерон)), кальцитриол) регулирует почти все процессы жизнедеятельности организма человека.
- **Желчные кислоты** – основные эмульгаторы желчи.
- **Каротиноиды** – природные антиоксиданты растений,  $\beta$ -каротин – предшественник витамина А.
- **Эйкозаноиды** (простагландины, простациклины, лейкотриены, тромбоксаны) – короткоживущие низкомолекулярные биорегуляторы, производные арахидоновой кислоты многосторонне и системно действуют на метаболизм.

Многие лекарственные препараты – липофильные вещества.

# РОЛЬ ЖИРОРАСТВОРИМЫХ ВИТАМИНОВ

- Абсолютно необходимы для процессов жизнедеятельности:
- Витамин А (ретиноль, ретиноевая кислота) абсолютно необходим для зрения, процессов роста и дифференцировки клеток и тканей.
- Витамин D (холекальциферол) – предшественник гормона фосфорно-кальциевого обмена кальцитриола.
- Витамин E (токоферол) – важнейший липидный антиоксидант, необходим для эффективного сдерживания процессов ПОЛ и поддержания плодовитости (фертильность).
- Витамин K (менахинон) – кофермент, необходимый для обеспечения процесса свертывания крови.

# БИОМЕМБРАНЫ

**Биомембраны** – уникальные супрамолекулярные структуры с особыми свойствами, разграничивающие в живых клетках и организмах компартменты с особым самостоятельным метаболизмом.

Особые свойства биомембран:

- нерастворимость в воде в сочетании со смачиваемостью ею,
- определенная вязкость и текучесть,
- определенная ограниченная, но регулируемая проницаемость,
- способность воспринимать информацию и передавать её,
- способность участвовать в регуляции метаболизма своего компартмента (а иногда и других),
- способность поддерживать постоянство своих структуры и функций в определенном интервале физиологических

# СТРУКТУРА БИОМЕМБРАН. МОДЕЛЬ СИНГЕРА

Жидкомозаичная модель Сингера, 1972 г.

Главные компоненты мембран: **фосфолипиды, холестерин, мембранные белки**, могущие нести **углеводные олигосахаридные фрагменты**.

Основа структуры биомембран – фосфолипидный бислой.

В бислой вставлены холестерин и белки (интегральные и периферические), выполняющие особые структурные, транспортные, рецепторные, регуляторные и каталитические функции.

# СТРУКТУРА БИОМЕМБРАНЫ.

