

## РАЗДЕЛ 4 БИОХИМИЯ ЛИПИДОВ

### Занятие 14

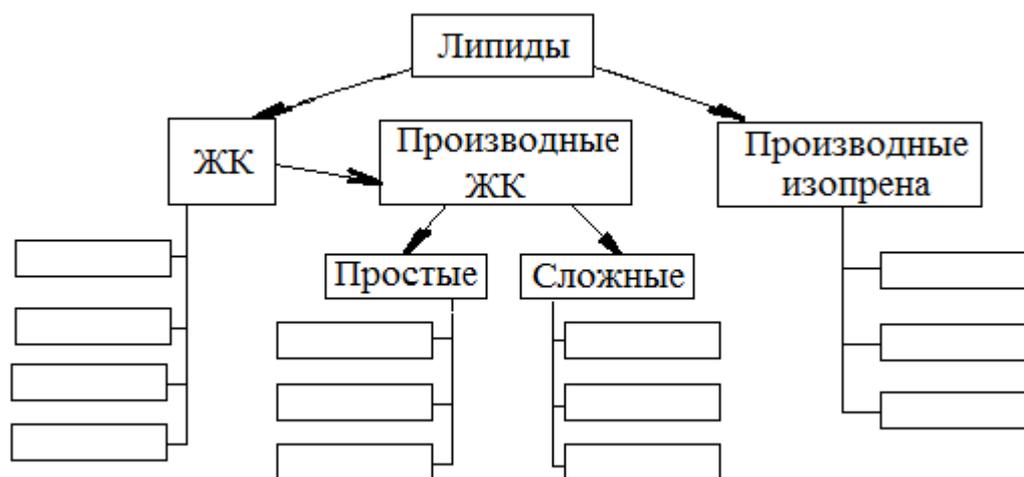
**Тема: Классификация, биологические функции. Переваривание и всасывание. Обмен липопротеидов**

**Цель занятия:** сформировать представления о строении, классификации основных липидов, их биологической функции, о молекулярных механизмах переваривания и всасывания липидов в желудочно-кишечном тракте. Изучить строение, химический состав, метаболизм и функциональную роль основных классов липопротеидов

**Практическая часть:**

#### 1. Липиды – их строение и классификация

**Задание 1.1** – Дополните схему следующими терминами: ацилглицеролы, диольные липиды, насыщенные, гликолипиды, ненасыщенные, с нечетным числом углеродных атомов, воска, с четным числом углеродных атомов, стероиды, фосфолипиды, каротиноиды, терпены, сульфолипиды.



**Рисунок 14.1** – Классификация липидов по химическому строению

#### 2. Роль липидов в построении биологических мембран

**Задание 2.1** – Рассмотрите рисунок 14.2. и подпишите основные компоненты биологических мембран, следующими терминами: гидрофильная головка, ненасыщенная жирная кислота, гидрофобный хвост, фосфолипид, периферический белок, жесткое стероидное кольцо, интегральный белок, насыщенная жирная кислота.

**Задание 2.2** – Рассмотрите строение молекулы ХС и предложите правильное расположение ее в билипидном слое (окно для ХС).

Следует помнить, что липидный бислой не является полностью однородным, а содержит – рафты – липидные домены, обогащенные холестерином и сфинголипидами, способные свободно плавать в жидком бислое клеточной мембраны.

**Задание 2.3** – Запишите определение понятия «липидный рафт».

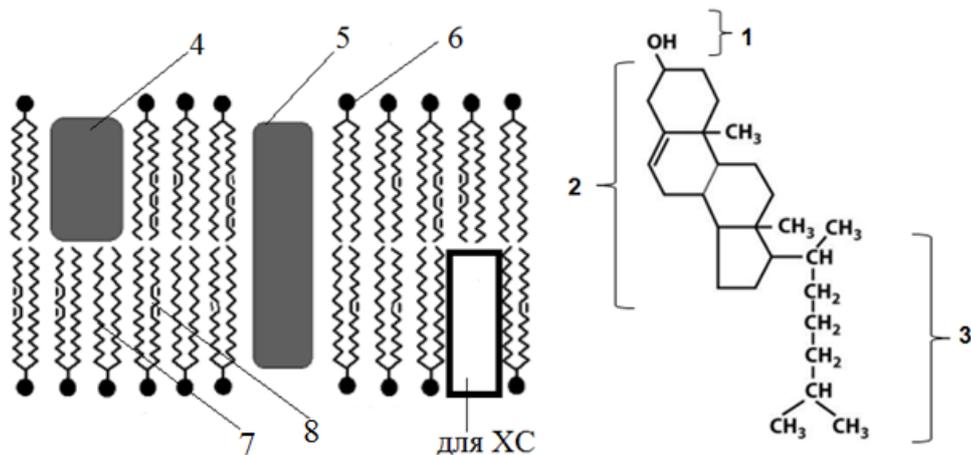


Рисунок 14.2 – Схема строения биологических мембран, строение холестерина

### 3. Переваривание и всасывание липидов в желудочно-кишечном тракте

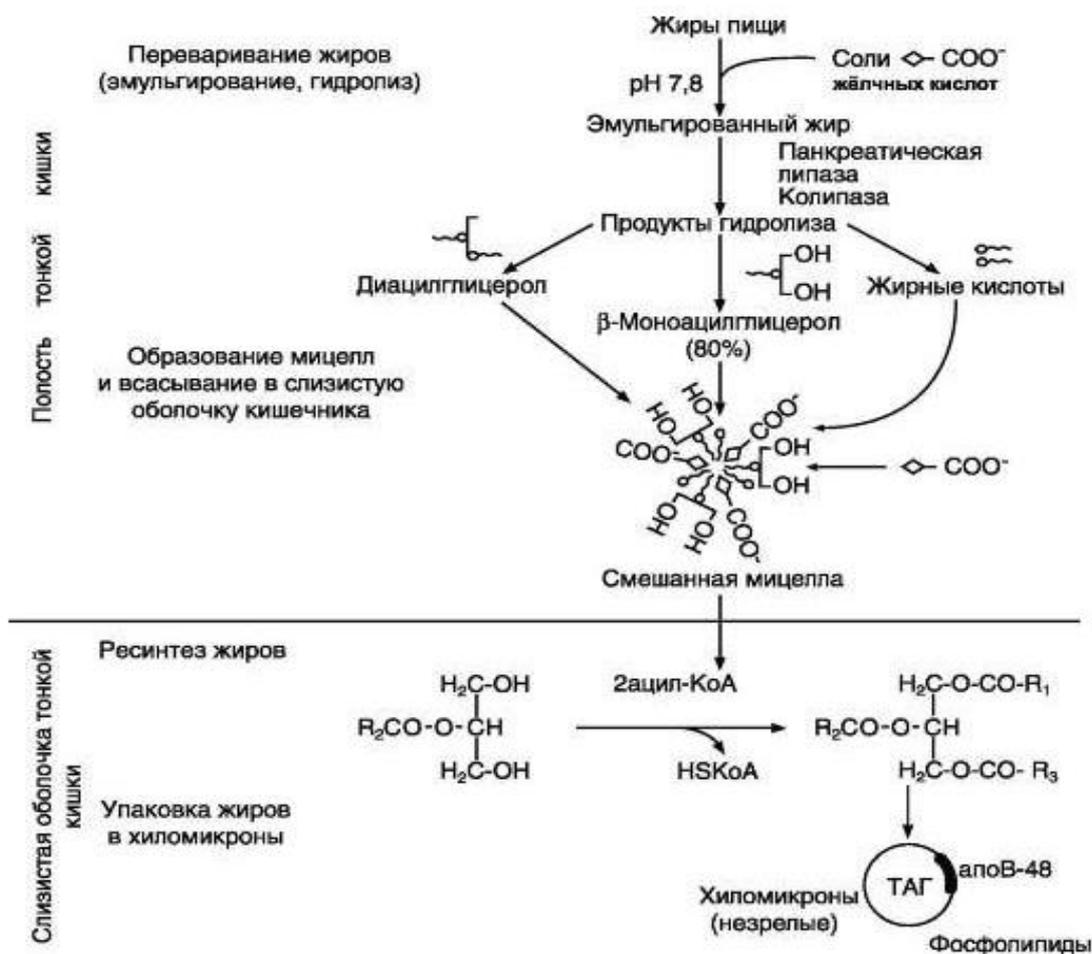


Рисунок 14.3 – Этапы переваривания и всасывания экзогенных жиров в тонком кишечнике [1]

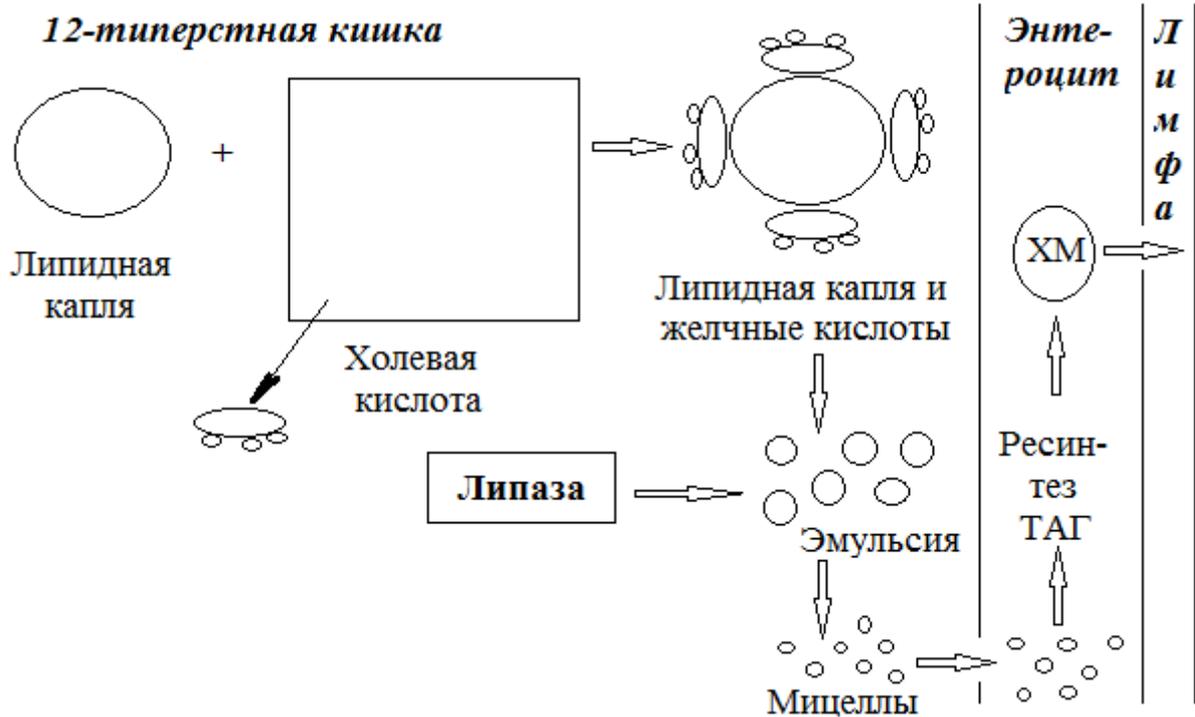
**Задание 3.1** – Рассмотрите рисунок 14.3 и расположите в правильной хронологической последовательности следующие процессы: гидролиз, всасывание, транспорт, ресинтез, эмульгирование.

**Задание 3.2** – Запишите основные компоненты смешанных мицелл.

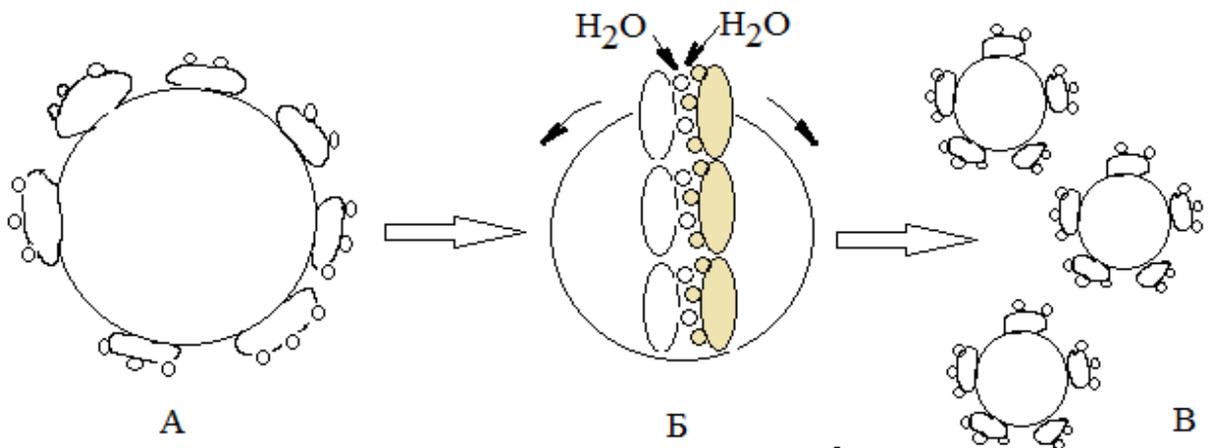
**Задание 3.3** – Перерисуйте рисунки 14.4 и 14.5 и выполните следующие задания:

а) допишите в схему формулу холевой кислоты и обозначьте разными цветами гидрофильную и гидрофобную части молекулы в самой формуле и в схеме под ней (рисунок 14.4);

б) поясните механизм действия желчных кислот, дайте определение понятию «эмульгирование» и поясните физиологический смысл данного процесса.



**Рисунок 14.4** – Этапы переваривания и всасывания липидов



**Рисунок 14.5** – Механизм эмульгирования жира

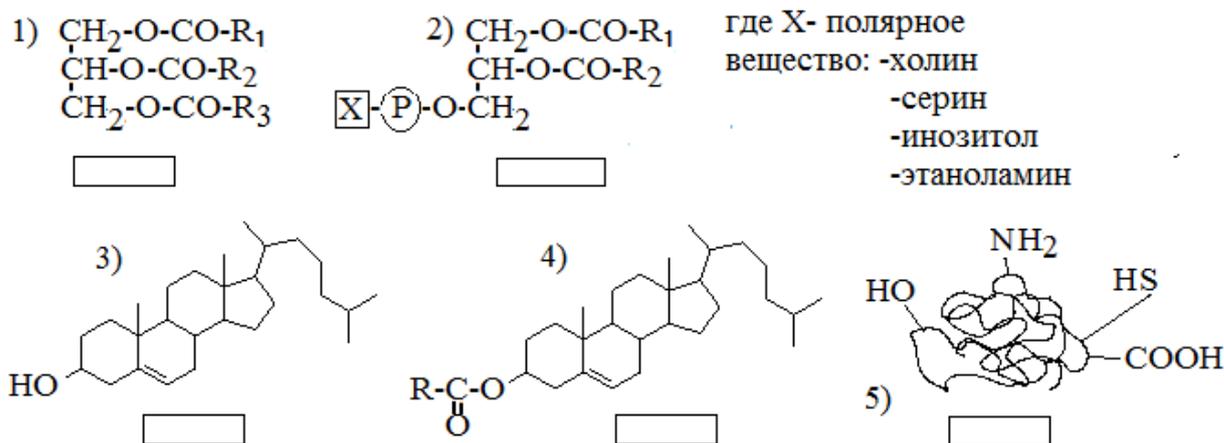
**Задание 3.4** – Дайте определение понятию «ресинтез» и поясните физиологический смысл данного процесса.

**Задание 3.5** – Объясните, каким образом осуществляется транспорт экзогенных жиров в крови и лимфе.

## 4. Липопротеиды и их метаболизм

### 4.1. Структура липопротеидов

**Задание 4.1.1** – Перепишите и подпишите формулы и схематические изображения веществ, входящих в состав липопротеида следующими терминами: фосфолипиды, апобелок, эфир холестерина, свободный холестерол, триглицериды (рисунок 14.6).



**Рисунок 14.6** – Основные компоненты липопротеидных частиц

**Задание 4.1.2** – Отметьте разными цветами гидрофильные и гидрофобные части веществ, изображенных на рисунке 14.6.

**Задание 4.1.3** – Поясните, почему фосфолипид изображается в виде «головастика» с двумя «хвостами» (рисунок 14.7).

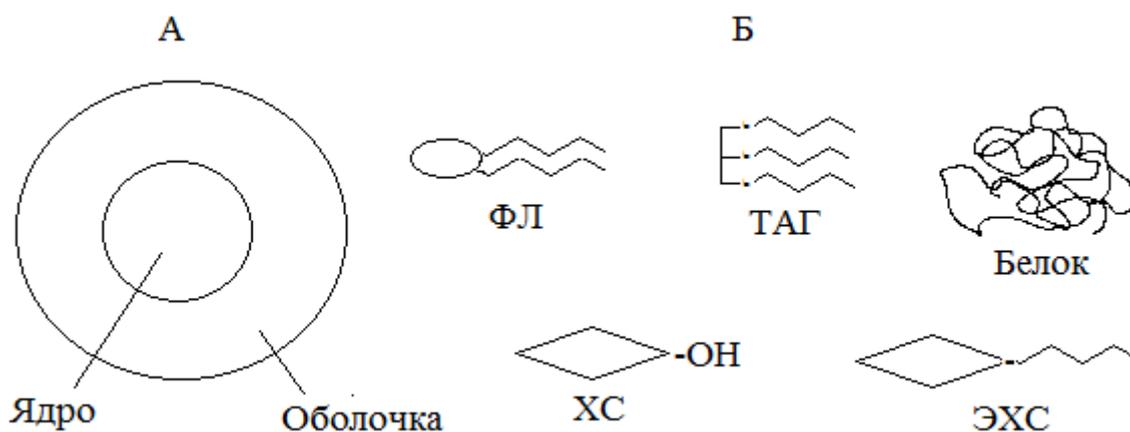


**Рисунок 14.7** – Структурная формула фосфолипида

**Задание 4.1.4** – Запишите и запомните: липопротеид имеет гидрофобное ядро и гидрофильную оболочку.

**Задание 4.1.5** – Используя рисунок 14.6, отметьте разными цветами гидрофильные и гидрофобные части веществ, изображенных на рисунке 14.8.

**Задание 4.1.6** – Дополните рисунок 14.8 (А), расположив правильно все составные части липопротеида (Б), пользуясь правилом задания 4.1.4. Запомните: гидрофобная часть амфифильных веществ оболочки липопротеида повернута в сторону ядра.



**Рисунок 14.8 – Схема строения липопротеидной частицы**

**Задание 4.1.7 – Запишите и запомните виды липопротеидов:**

- хиломикроны (ХМ);
- липопротеиды очень низкой плотности (ЛПОНП, пре- $\beta$ -ЛП);
- липопротеиды промежуточной плотности (ЛППП);
- липопротеиды низкой плотности (ЛПНП,  $\beta$ -ЛП);
- липопротеиды высокой плотности (ЛПВП,  $\alpha$ -ЛП) .

**Задание 4.1.8 – Пользуясь учебником, заполните таблицу 14.1.**

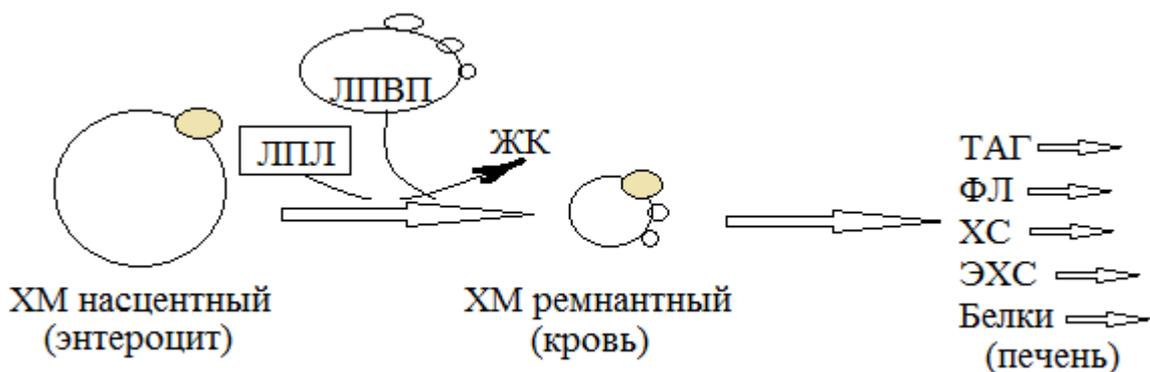
Таблица 14.1 – Характеристика липопротеидов

Характеристика	ХМ	ЛПОНП	ЛПНП	ЛПВП
Плотность г/см <sup>3</sup>				
Белок, %				
ФЛ, %				
ХС, %				
ЭХС, %				
ТАГ, %				
Апопротеины и их роль				

## 4.2. Метаболизм хиломикрона

**Задание 4.2.1 – Выполните следующие задания:**

- составьте и зарисуйте в тетрадь схему метаболизма хиломикрона;
- укажите на своей схеме главный апобелок хиломикрона;
- опишите роль ЛПВП в метаболизме ХМ;
- что транспортируют ХМ?
- запишите уравнение реакции, катализируемое ферментом лпл;
- где разрушаются ХМ?
- каким образом утилизируются вещества, транспортируемые хиломикроном (дополните схему рисунка 14.9)?



**Рисунок 14.9 – Схема метаболизма хиломикрона**

Таблица 14.2 – Строение хиломикрона

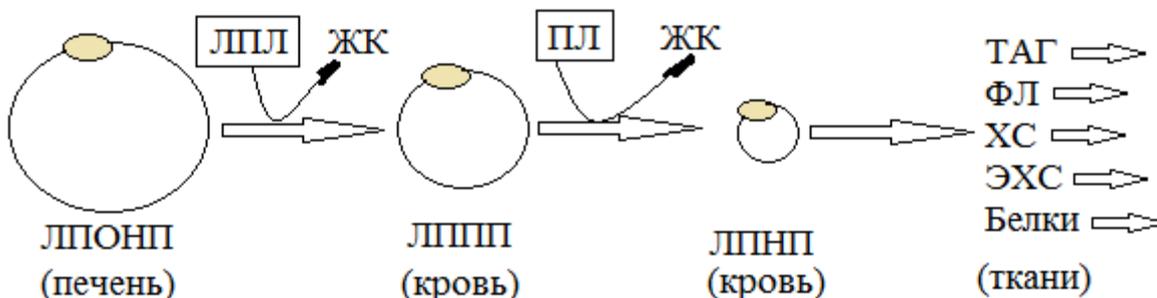
ХМ	Насцентный	Зрелый	Ремнантный
Апобелки (какие?)			
ТАГ (мало/много)			

**Задание 4.2.2 – Заполните таблицу 14.2.**

**4.3. Метаболизм липопротеинов очень низкой плотности**

**Задание 4.3.1 –** Пользуясь рекомендованной литературой опишите метаболизм ЛПОНП, ЛППП и ЛПНП (составьте собственные схемы и запишите их в тетрадь). Укажите роль фермента ЛПЛ. Укажите главные апобелки каждого из липопротеидов.

**Задание 4.3.2 –** Каким образом утилизируются тканями вещества, транспортируемые ЛПНП (дополните схему рисунка 14.10)?



**Рисунок 14.10 – Метаболизм липопротеидов низкой плотности**

**4.4. Метаболизм липопротеидов высокой плотности**

**Задание 4.4.1 –** Рассмотрите рисунок 14.11 и опишите метаболизм ЛПВП. Укажите главные апобелки этого липопротеида.

**Задание 4.4.2 –** Перерисуйте рисунок 14.11. Какую форму имеют насцентные и зрелые ЛПВП? Объясните их отличия.

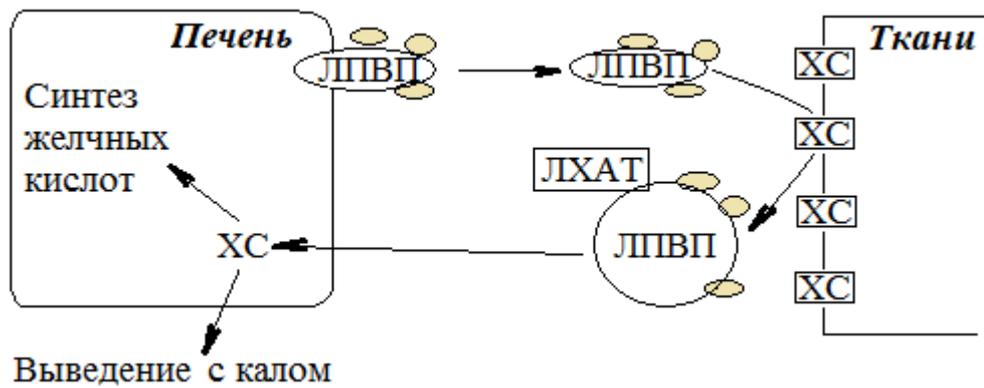


Рисунок 14.11 – Метаболизм липопротеидов высокой плотности

Таблица 14.3 – Характеристика липопротеидов

ЛП	ЛПОНП	ЛППП	ЛПНП	ЛПВП
Место синтеза				
Место разрушения				

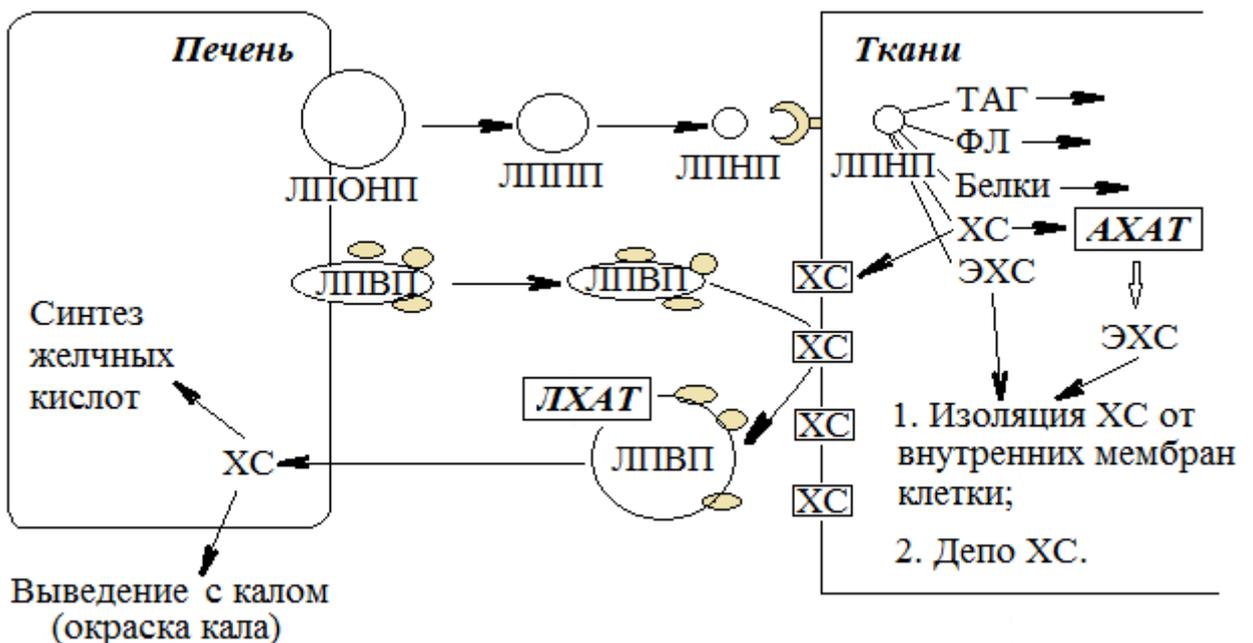
Задание 4.4.3 – Заполните таблицу 14.3.

#### 4.5. Роль ферментов в метаболизме липопротеидов

Задание 4.5.1 – Запишите химическими символами уравнение реакции (Лецитин + ХС → Лизолецитин + ЭХС), катализируемой ферментом лецитин: холестерол-ацилтрансферазой (ЛХАТ). Объясните физиологическое значение данной реакции, пользуясь рисунком 14.14.

Задание 4.5.2 – Запишите химическими символами уравнение реакции (ХС + Ацил-КоА → ЭХС + HS-КоА), катализируемое ферментом ацил-КоА-холестерол-ацилтрансферазой (АХАТ). Объясните физиологическое значение данной реакции, пользуясь рисунком 14.14.

Задание 4.5.3 – Запишите схему рисунка 14.12 в тетрадь и обозначьте на нем разными цветами транспорт ХС в ткани и из тканей. Поясните роль липопротеидов в данном процессе.



**Рисунок 14.12 – Роль ферментов лецитин: холестерол-ацилтрансферазы и ацил-КоА-холестерол-ацилтрансферазы в метаболизме липопротеидов**

Таблица 14.4 – Сравнительная характеристика ферментов метаболизма липопротеидов

Фермент	ЛПЛ	ПЛ	АХАТ	ЛХАТ
Расшифровать аббревиатуру				
Место действия				
Биологическая роль				

*Задание 4.5.4 – Дополните таблицу 14.4, предложенными терминами: печеночная липаза, лецитин-холестерол-ацилтрансфераза, люминальная поверхность эндотелиальных клеток, цитозоль клеток, липопротеинлипаза, ацил-КоА-холестерол-ацилтрансфераза, плазма крови, поверхность эндотелиальных клеток печеночных капилляров.*

**5. Общий вывод:** формулируется самостоятельно исходя из цели занятия.

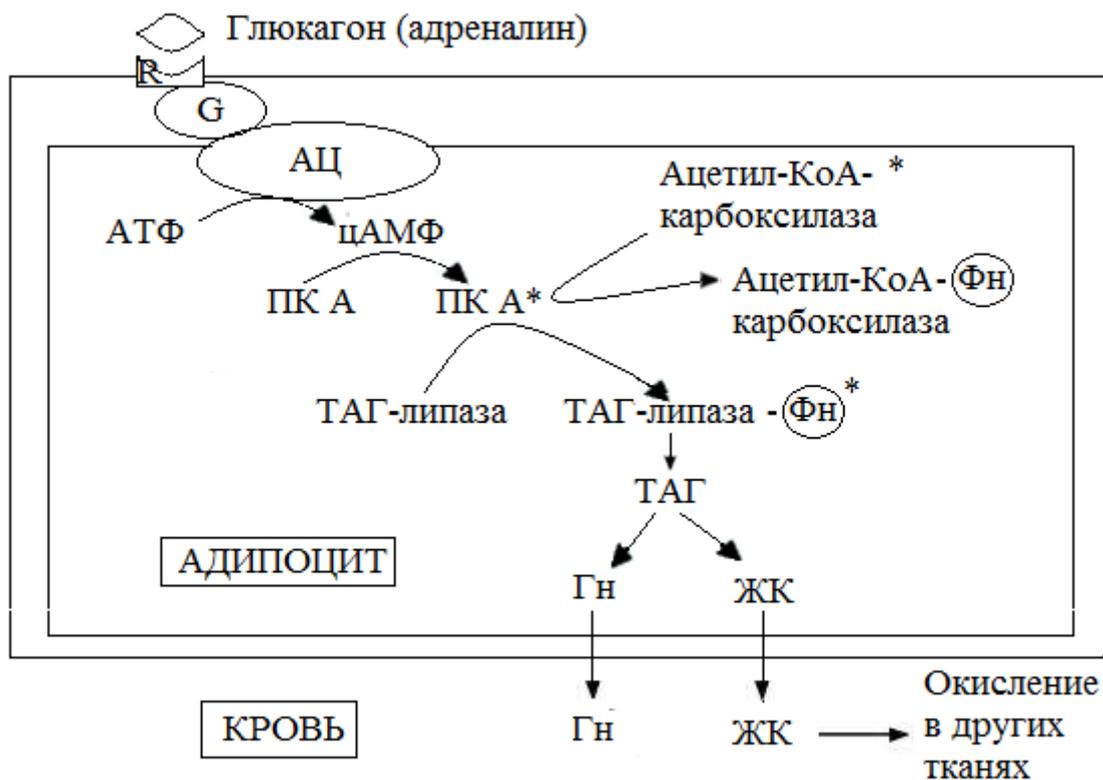
## **Занятие 15**

**Тема: Тканевой обмен липидов. Катаболизм триацилглицеролов. Метаболизм кетоновых тел**

**Цель занятия:** изучить главные метаболические пути основных классов липидов (триацилглицеролов, жирных кислот, кетоновых тел)

**Практическая часть:**

**1. Механизм мобилизации ТАГ (жира)**



**Рисунок 15.1 – Активация гормончувствительной ТАГ-липазы**

**Задание 1.1** – Пользуясь рисунком 15.1. объясните изменения в метаболизме жировой ткани, если после последнего приема пищи прошло 14 часов. При ответе:

- укажите гормон, действие которого на жировую ткань преобладает в этих условиях;
- изобразите схему действия этого гормона на жировую клетку;
- запишите уравнение реакции, катализируемое ферментом аденилатциклазой;
- запишите уравнение реакции, катализируемое ферментом гормончувствительной ТАГ-липазой.
- выделите разными цветами ферменты синтеза ТАГ и его распада;
- сделайте выводы о фосфорилировании ферментов распада и синтеза ТАГ. Какой путь включается при фосфорилировании ферментов, а какой – при дефосфорилировании.

**Задание 1.2** – Дополните таблицу 15.1 предложенными терминами: инсулин, полость тонкого кишечника, адипоциты, кровь (эндотелий), проникновение в клетки органов, колипаза, адреналин, ТАГ жировой ткани, пищевые жиры, ТАГ в составе липопротеидов, жирные кислоты (3), МАГ, глицерол (2), всасывание в слизистую тонкого кишечника, выход в кровь.

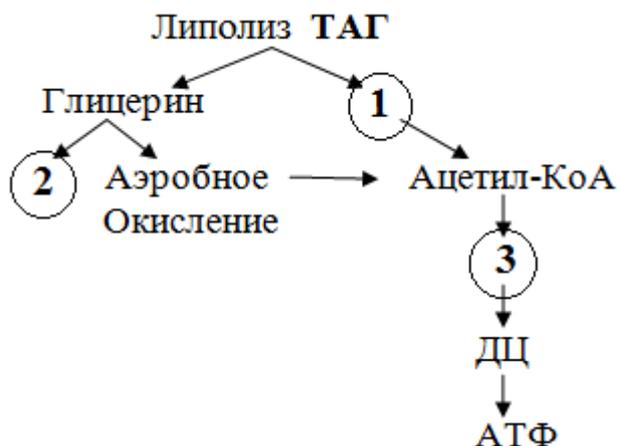
**Таблица 15.1 – Сравнительная характеристика липаз**

Характеристика	Панкреатическая липаза	ЛП-липаза	Гормончувствительная ТАГ-липаза
Место катализа			

Активатор, индуктор			
Субстрат для фермента			
Главные продукты реакции			
Судьба продуктов реакции			

## 2. Окисление ТАГ в тканях. Окисление глицерола, его энергетический баланс

*Задание 2.1 – Дополните схему рисунка 15.2 (подпишите цифры 1-3).*



**Рисунок 15.2 – Схема использования продуктов липолиза триглицеридов**

*Задание 2.2 – Запишите метаболический путь окисления глицерола (рисунок 15.3) и выполните следующие задания:*

а) выделите красным цветом уравнение активации глицерола; зеленым – ОВР; желтым – реакции субстратного фосфорилирования; фиолетовым – реакцию окислительного декарбоксилирования пирувата;

б) сколько молекул NADH+H и АТФ образуется при аэробном окислении глицерола?

в) сколько молекул АТФ затрачивается при аэробном окислении глицерола?

г) рассчитайте энергетический выход полного аэробного окисления 1 молекулы глицерола, включая субстратное и окислительное фосфорилирование.

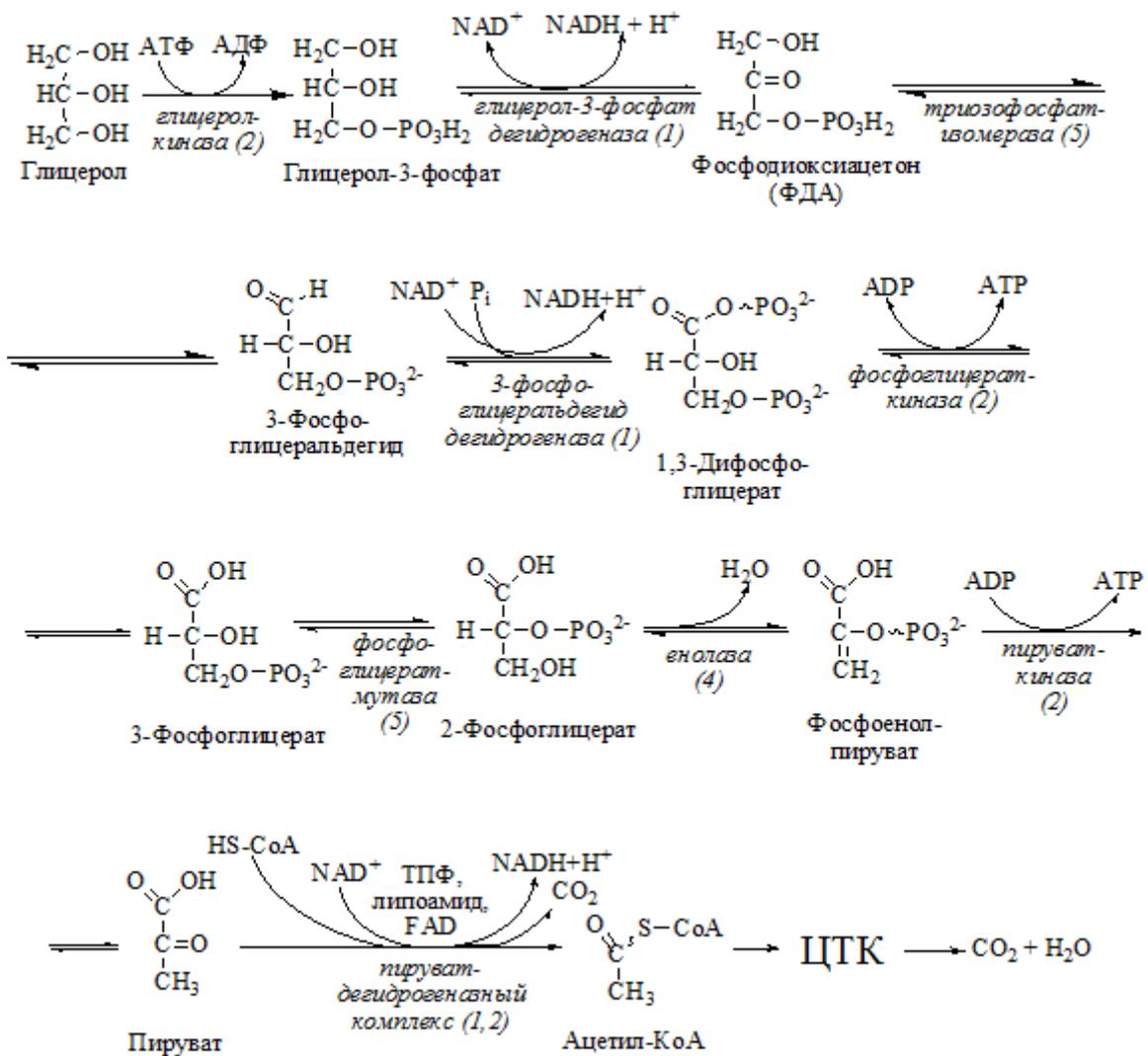


Рисунок 15.3 – Окисление глицерола

### 3. $\beta$ -окисление жирных кислот

**Задание 3.1** – Расположите последовательно следующие процессы: вступление ацетил-КоА в общий путь катаболизма, транспорт ЖК в матрикс митохондрий (карнитин-ацилтрансферазы I и II), активация ЖК (ацил-КоА-синтетаза) в цитоплазме, последовательное циклическое отщепление  $\text{C}_2$ -фрагментов в матриксе митохондрий.

**Задание 3.2** – Рассмотрите рисунок 15.4. и выполните следующие задания: выделите красным цветом уравнение активации жирной кислоты; желтым – транспорт жирной кислоты; зеленым – непосредственно реакции  $\beta$ -окисления жирных кислот.

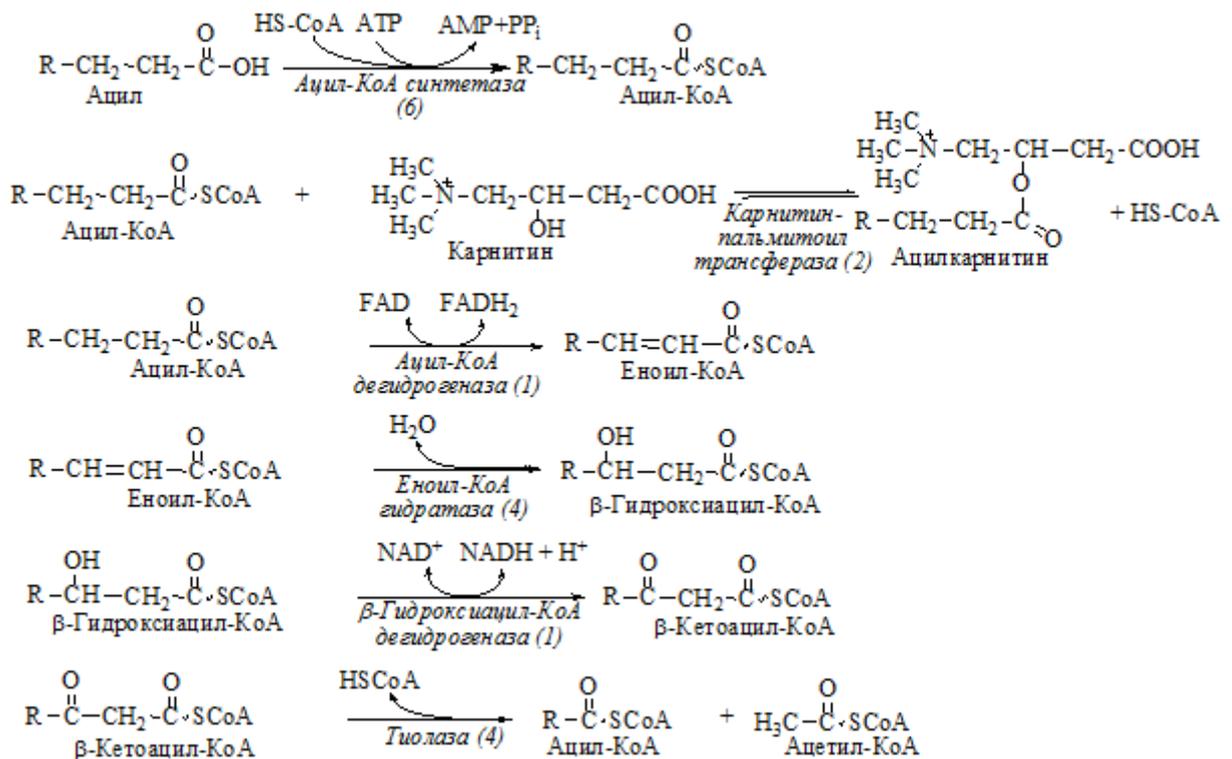


Рисунок 15.4 – Общие реакции окисления жирных кислот

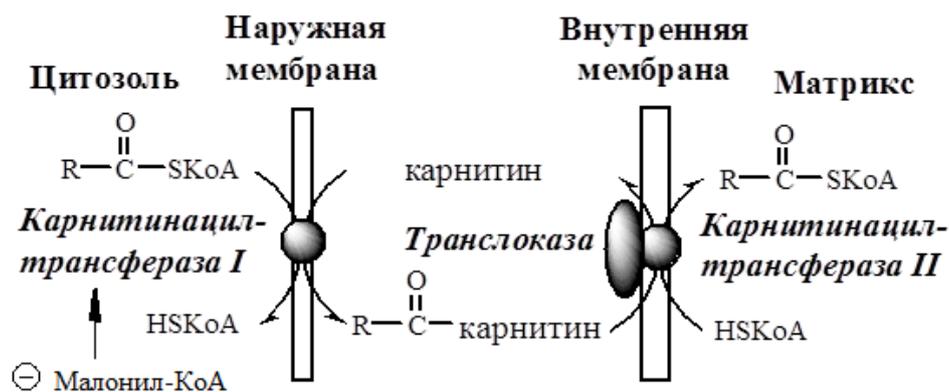


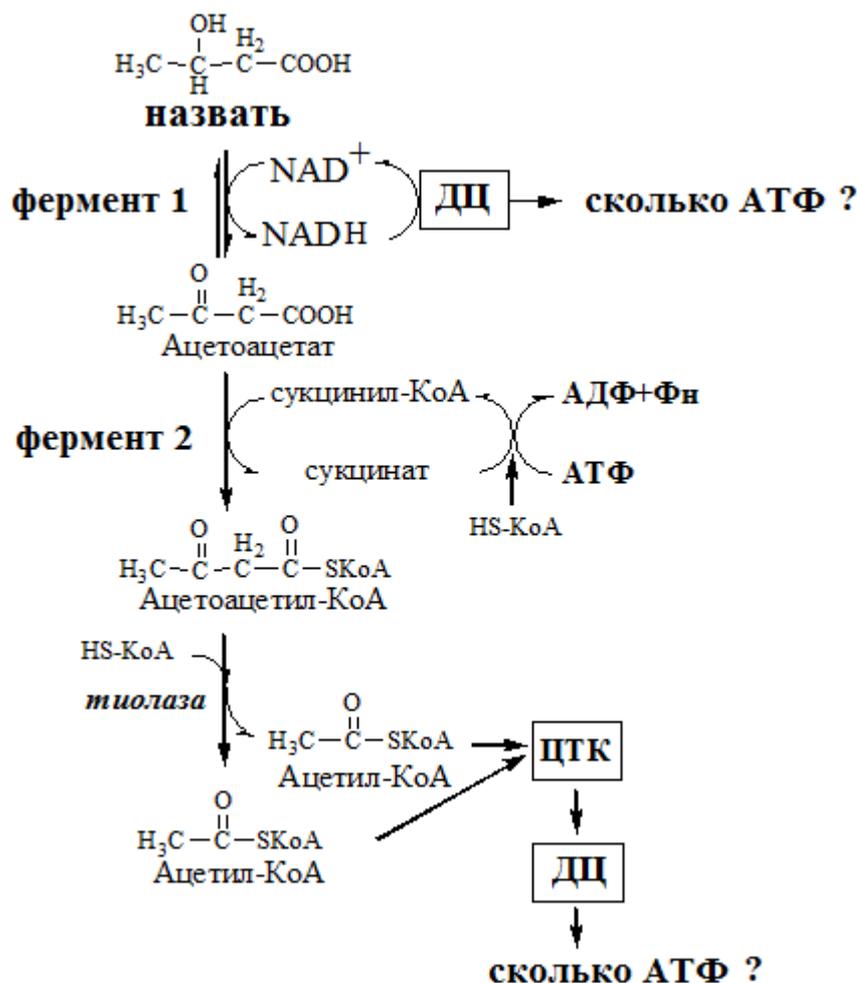
Рисунок 15.5 – Механизм трансмембранного переноса длинноцепочечного ацил-КоА в матриксе митохондрий при участии пальмитоил-карнитин- ацилтрансфераз и транслоказы

**Задание 3.3** – Рассмотрите рисунок 15.5 и запишите химическими символами уравнение реакции образования ацилкарнитина;

**Задание 3.4** – Пользуясь формулой  $АТФ = [(n/2 - 1) \times 5 + N/2 \times 12] - 1АТФ$  (где  $n$  – число атомов углерода в ЖК;  $(n/2 - 1)$  - число циклов  $\beta$ -окисления, каждый из которых обеспечивает синтез 5 молекул АТФ ( $FADH_2 - 2 АТФ$ ;  $NADH+H^+ - 3 АТФ$ );  $n/2$  – число, образовавшихся молекул ацетил-КоА, утилизируемых в ЦТК, обеспечивающего синтез 12 молекул АТФ; 1АТФ – затрачивается на этапе активации ЖК) рассчитайте полный энергетический выход аэробного окисления 1 молекулы пальмитиновой кислоты.

#### 4. Кетоновые тела

**Задание 4.1** – Дополните схему рисунка 15.6. и рассчитайте суммарный выход полного аэробного окисления 1 молекулы β-гидроксибутирата.



**Рисунок 15.6** – Схема метаболического пути утилизации кетоновых тел

**Задание 4.2** – Назовите органную локализацию синтеза и утилизации кетоновых тел.

**Задание 4.3** – Объясните, почему мозг может использовать кетоновые тела как источник энергии, а эритроциты и печень - нет.

**Задание 4.4** – Объясните причину кетоацидоза при СД.

**5. Общий вывод:** формулируется самостоятельно исходя из цели занятия.

## Занятие 16

**Тема:** Биосинтез липидов. Регуляция и патология липидного обмена

**Цель занятия:** изучить биосинтез основных классов липидов

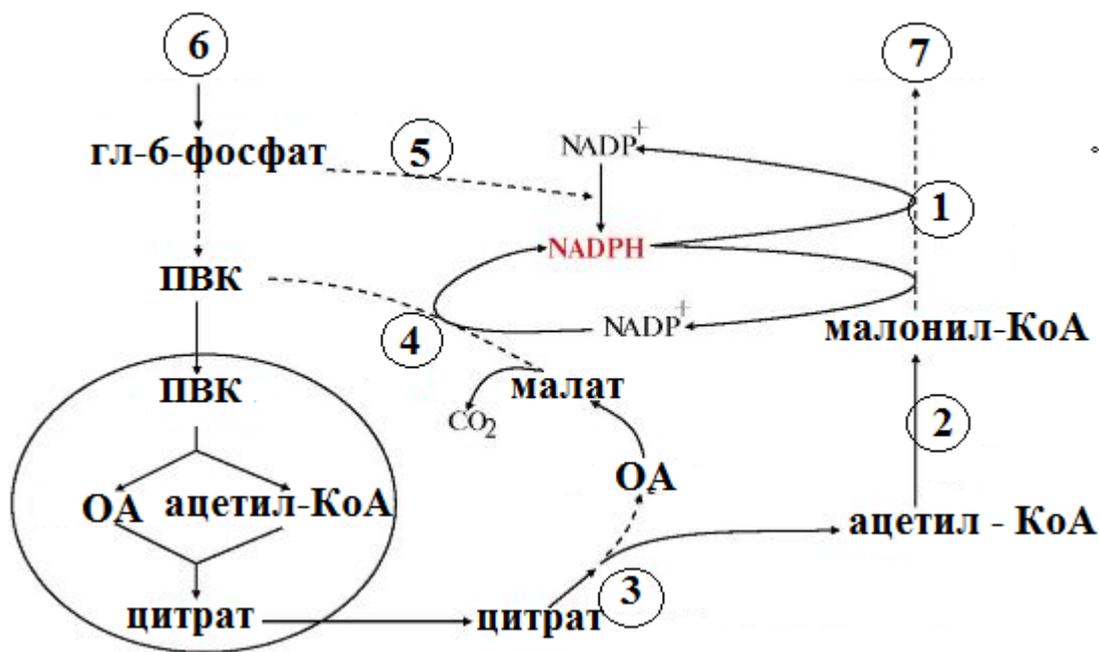
**Практическая часть:**

**1. Биосинтез насыщенных жирных кислот**

**Задание 1.1** – Рассмотрите рисунок 16.1. и выполните следующие задания:

а) дополните схему рисунка 16.1, предложенными терминами: ПФП, пальмитат, малик-фермент, ацетил-КоА-карбоксилаза, цитратлиаза, глюкоза, синтаза жирных кислот;

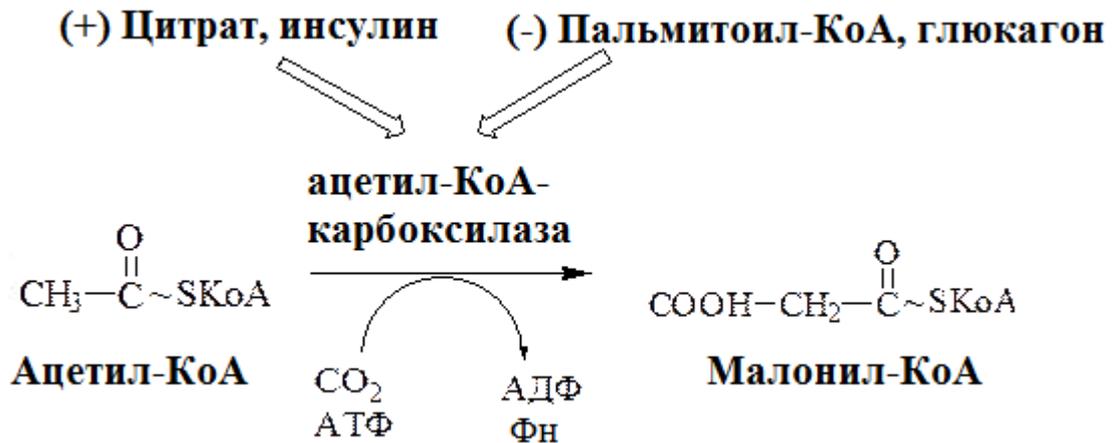
б) запишите уравнения реакции, катализируемые следующими ферментами: малик – фермент, цитратлиаза.



**Рисунок 16.1** – Схема синтеза жирных кислот из продуктов катаболизма глюкозы

**Задание 1.2** – Для синтеза жирных кислот необходимы следующие исходные вещества: ацетил-КоА, АТФ, NADPH+H<sup>+</sup>. Пользуясь рисунком 16.1 и пройденным уже материалом, поясните происхождение каждого из трех компонентов.

**Задание 1.3** – Рассмотрите рисунок 16.2. и сделайте вывод о регуляции ферментативной активности фермента ацетил-КоА-карбоксилазы.

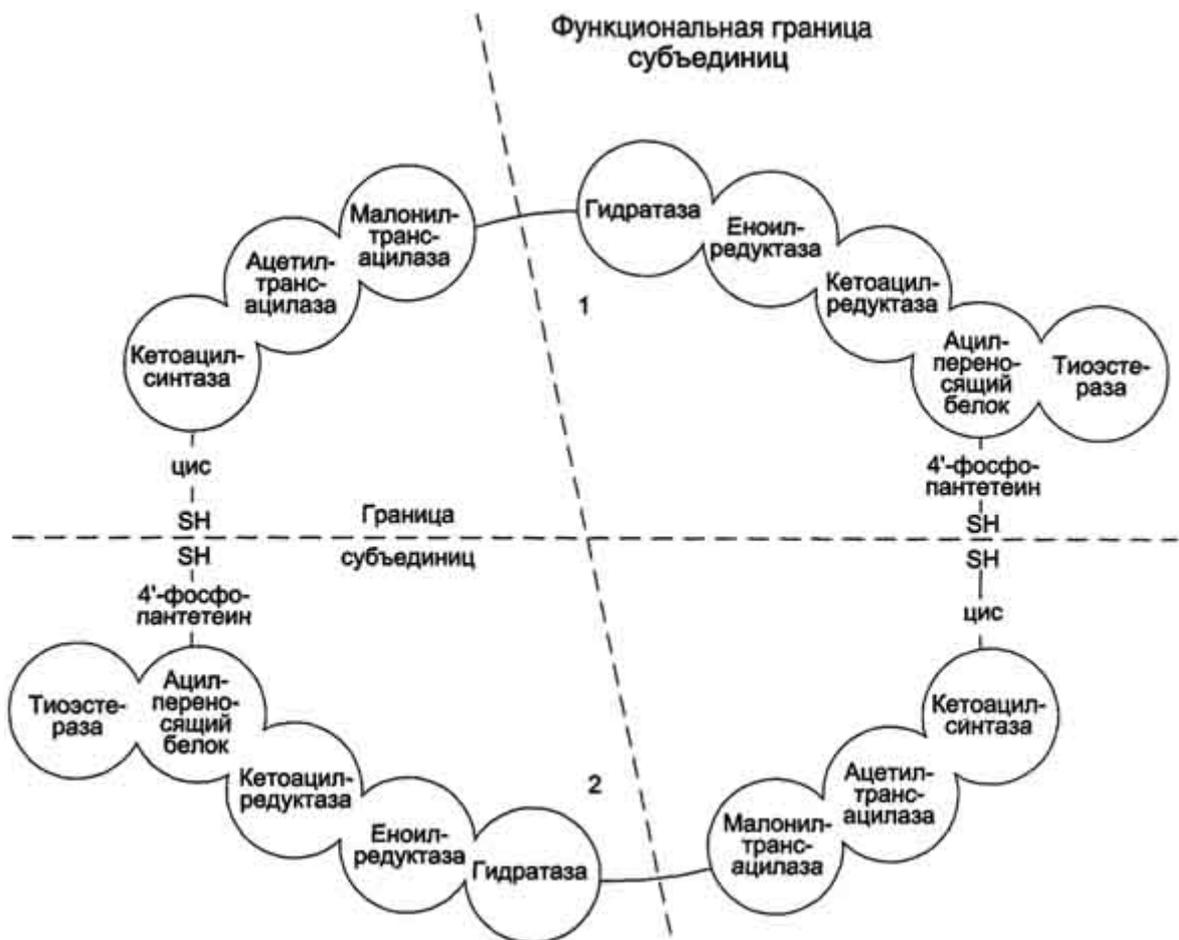


**Рисунок 16.2 – Регуляция скорости лимитирующей реакции синтеза жирных кислот**

*Задание 1.4 – Рассмотрите рисунок 16.3. и ответьте на следующие вопросы:*

- а) сколько субъединиц содержит активная форма синтазы жирных кислот?
- б) сколько жирных кислот синтезируется одновременно?
- в) выпишите ферменты, участвующих в синтезе 1 жирной кислоты.
- г) что такое АПБ и какова его роль в синтезе жирных кислот?

Помните, что синтаза жирных кислот обеспечивает образование только пальмитиновой кислоты (C<sub>16</sub>), которая является основой для синтеза длинных и ненасыщенных жирных кислот в эндоплазматическом ретикулуме при участии других ферментов.



**Рисунок 16.3 – Схема строения полиферментного комплекса синтазы жирных кислот [1]**

*Задание 1.5 – Дополните таблицу 16.1. предложенными терминами: редуктазы, ацилпереносящий белок, цитоплазма, выделение, митохондрии, дегидрогеназы, затраты, HS-KoA, FAD, NADP, NAD.*

Таблица 16.1 – Сравнительная характеристика окисления и синтеза жирных кислот

Признак	Окисление	Синтез
Локализация		
Ферменты ОВР		
Коферменты		
Энергия		
Переносчик ацилов		

## 2. Биосинтез триацилглицеролов и фосфолипидов

*Задание 2.1 – Рассмотрите рисунок 16.4. и закончите следующие предложения:*

- а) синтез жиров в печени происходит из продуктов катаболизма....;
- б) после еды, образующийся в результате аэробного гликолиза избыток ацетил-КоА активно используется для синтеза.....(1);

- в) глицерол-3-фосфат образуется двумя путями (2, 3), запишите соответствующие уравнения реакций;  
 г) синтез ТАГ и ФЛ (4,5) происходит через образование.....

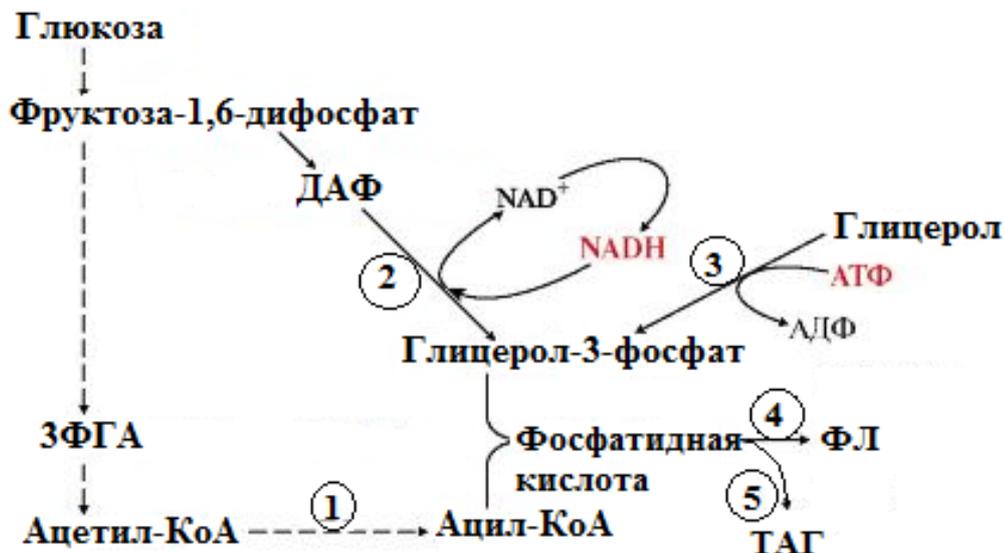


Рисунок 16.4 – Синтез липидов в печени

### 3. Биосинтез холестерина

Задание 3.1 – Дополните схему рисунка 16.5 о биологической роли ХС.



Рисунок 16.5 – Биологическая роль холестерина

Задание 3.2 – Рассмотрите рисунок 16.6 и отметьте следующие стадии синтеза ХС: 1. Превращение активного ацетата в мевалоновую кислоту; 2. Образование сквалена из мевалоновой кислоты; 3. Циклизация сквалена в холестерол.

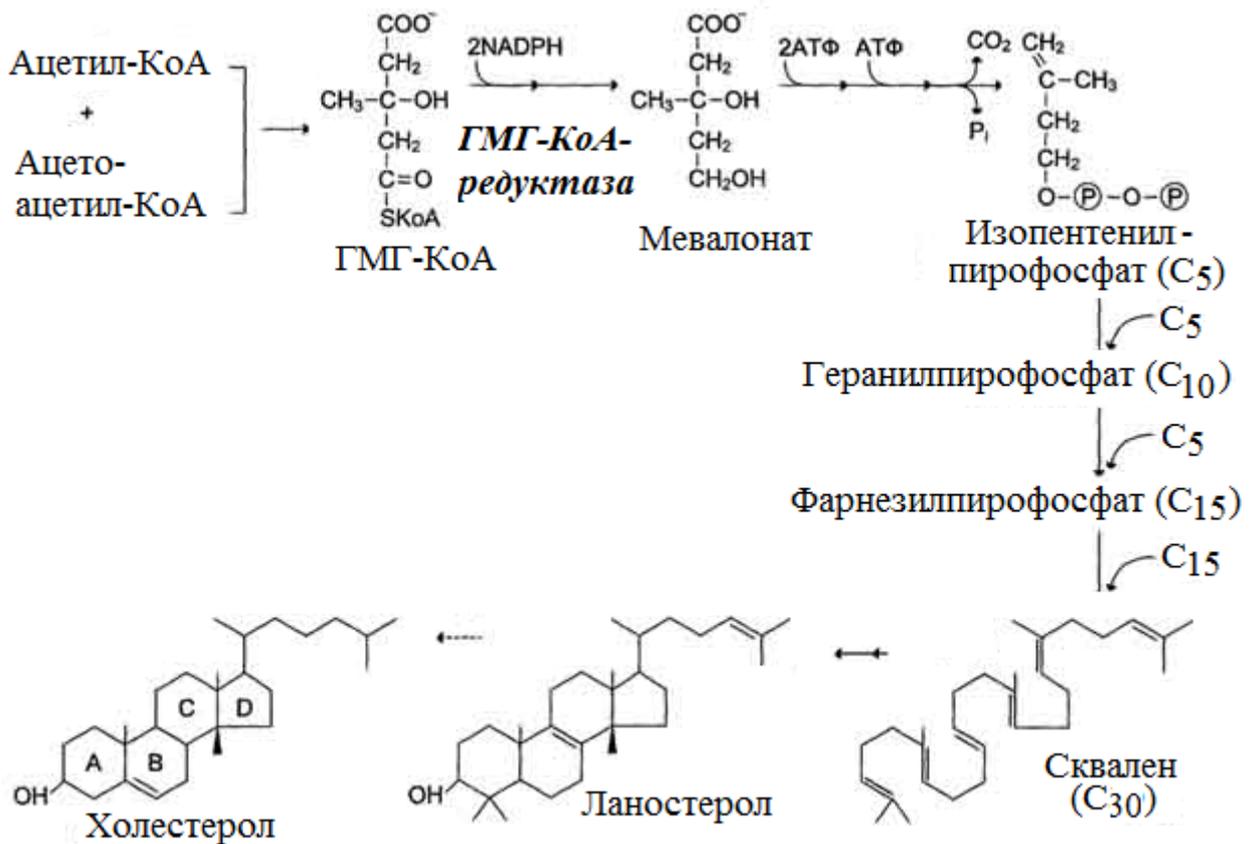


Рисунок 16.6 – Схема синтеза холестерина [1]

**Задание 3.3** – Вспомните схему транспорта ХС. Назовите атерогенные и антиатерогенные липопротеиды.

#### 4. Интеграция липидного и углеводного обменов

**Задание 4.1** – Пользуясь рисунками 16.7 и 1.2 закончите следующие предложения:

- .....источник АТФ для синтеза жирных кислот;
- ПФП – источник.....для синтеза жирных кислот и холестерина;
- .....,образующий при липолизе может быть субстратом ГНГ;
- Пируват источник образования ..... и .....для синтеза жирных кислот;
- Гликолиз источник ....., который необходим для образования глицерол-3-фосфата – субстрата в синтезе ТАГ.



## Рисунок 16.7 – Схема интеграции липидного и углеводного обменов

**Задание 4.2** – Рассмотрите рисунок 16.8. и проанализируйте изменения в использовании различных субстратов, как источник энергии при голодании. Вспомните энергетический выход полного аэробного окисления 1 молекулы глюкозы, 1 молекулы пальмитиновой кислоты, 1 молекулы  $\beta$ -гидроксибутирата. Сравните.

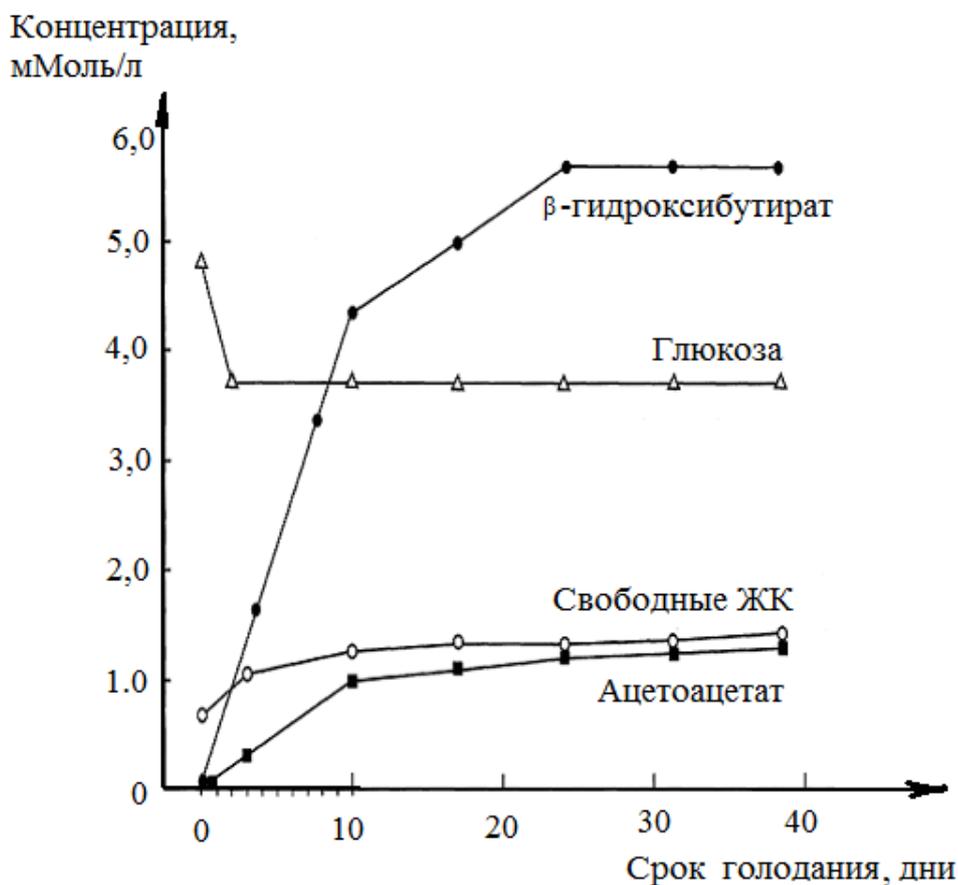


Рисунок 16.8 – Изменение содержание кетоновых тел, свободных жирных кислот и глюкозы в крови при голодании [1]

**6. Общий вывод:** формулируется самостоятельно исходя из цели занятия.

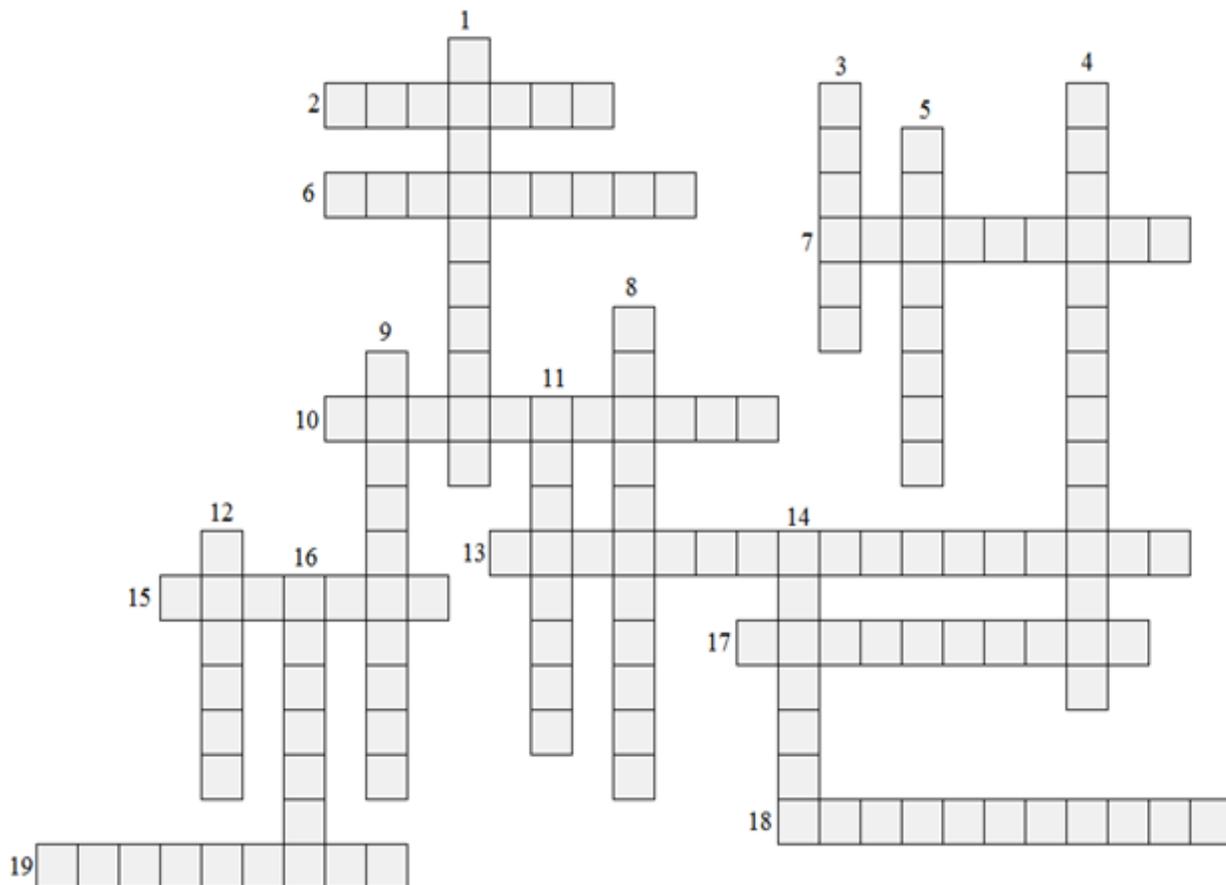
## Занятие 17

**Тема: Итоговое занятие по разделу «Биохимия липидов»**

**Цель занятия:** Самоконтроль усвоения знаний по вопросам раздела.

**Практическая часть:**

*Задание 17.1 – Ответьте на вопросы кроссворда и запишите правильные варианты ответов в тетрадь (рисунок 17.1).*



**Рисунок 17.1 – Кроссворд по разделу «Биохимия липидов».**

**По горизонтали:** 2. Процесс распада ТАГ; 6. Клетка, которая осуществляет ресинтез ТАГ; 7. Гормон, активирующий гормончувствительную ТАГ-липазу; 10. Транспортная форма липидов в крови; 13. Фермент, расщепляющий ТАГ в ХМ; 15. Фосфотидилхолин; 17. Сложный липид, входящий в структуру мембран; 18. Кетоновое тело; 19. Процесс синтеза липидов.

**По вертикали:** 1. Входит в состав биологических мембран и стабилизирует их; 3. Фермент расщепления липидов; 4. Процесс дробления липидных капель с участием желчных кислот; 5. Переносчик ЖК в митохондрию; 8. Органелла, в которой локализовано  $\beta$ -окисление ЖК; 9. Липопротеид, синтезируемый в энтероците; 11. Процесс обратного синтеза липидов в энтероците; 12. Орган синтеза ЛПВП; 14. Терминальный фермент  $\beta$ -окисления ЖК; 16. Гормон, активирующий синтез ТАГ.