

Лекция № 17

ВЫСШИЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ.
ЛИПИДЫ.

Липиды - (от греч. lípos - жир) -это неоднородная группа химических

- соединений, общим свойством которых является низкая растворимость в воде и высокая растворимость в неполярных растворителях: эфире, хлороформе, бензоле. Липиды непосредственно или опосредованно связаны с высшими жирными кислотами.

Классификация липидов

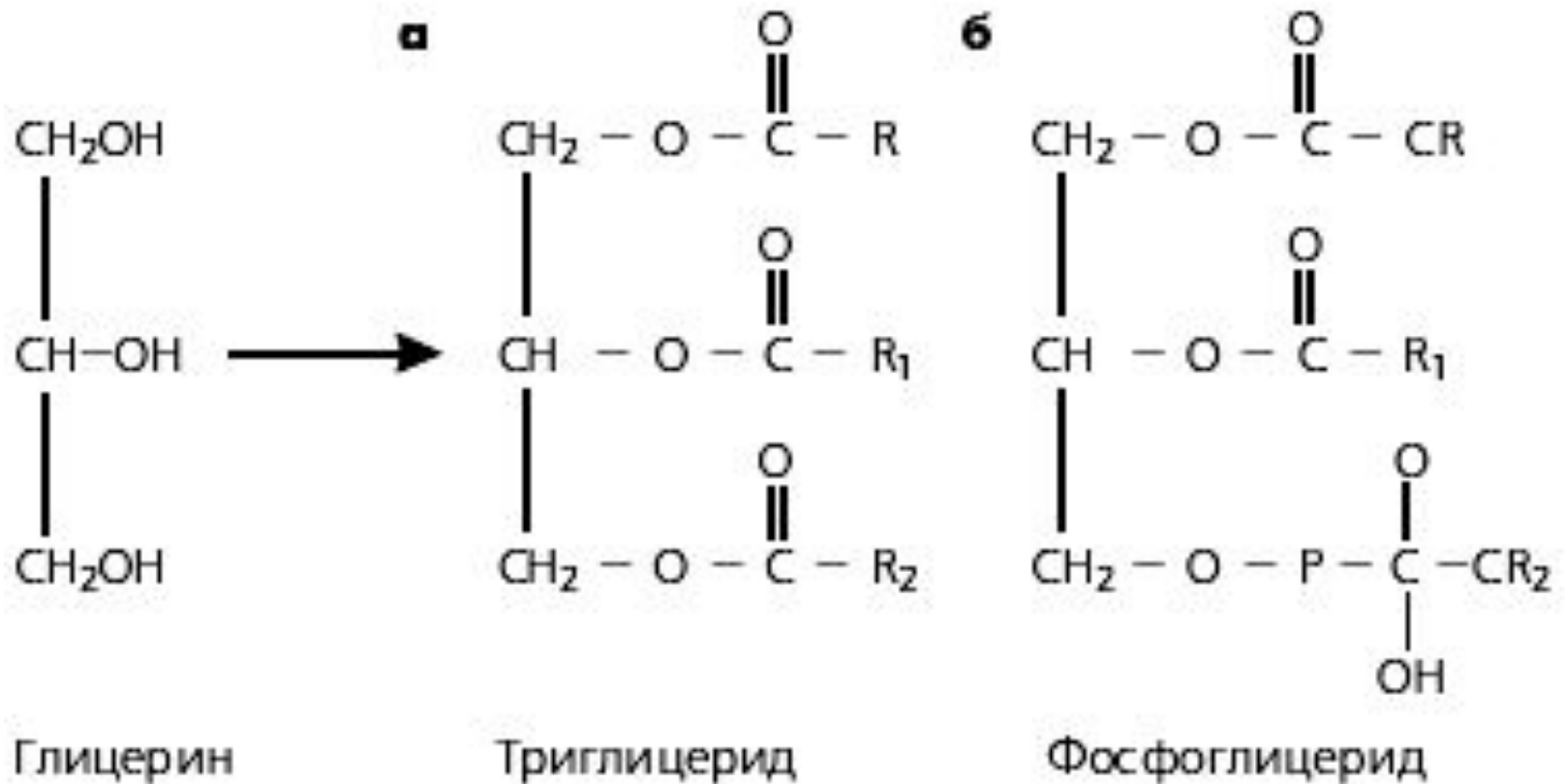
- Липиды подразделяют на простые и сложные, которые в свою очередь подразделяются на омыляемые и неомыляемые.
- К группе омыляемых липидов относят нейтральные липиды и полярные липиды (фосфолипиды).
- Неомыляемые липиды включают группу жирорастворимых витаминов (А, Е, D, К, Q₁₀), терпены, стерины и жирорастворимые гормоны. При этом терпены обнаруживают в липидах растений, а стерины и гормоны – в липидах животных.

Нейтральные липиды - это сложные эфиры жирных кислот с различными спиртами. К этой группе относят моно-, ди-, триацилглицеролы и воска.

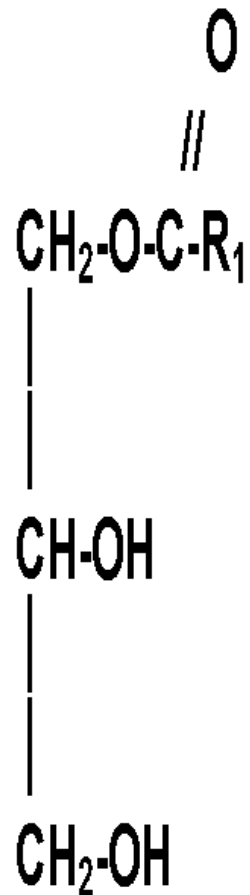
- **Полярные липиды** (фосфолипиды) представляют собой сложные эфиры жирных кислот со спиртами, содержащие, дополнительно, и другие группы.
- Омыляемые сложные липиды делят на несколько групп: – фосфолипиды, сфинго-липиды и гликолипиды, сульфоллипиды, аминоклипиды, [липопротеины](#).
- Наиболее распространены фосфолипиды, которые характеризуются значительным содержанием ненасыщенных жирных кислот.

-

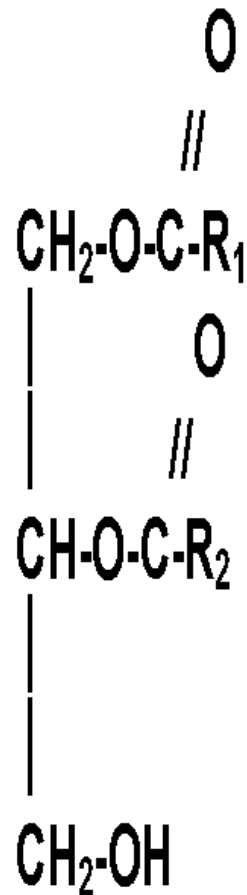
В структуру нейтральных липидов входит глицерол, остатки высших жирных кислот, в структуру фосфолипидов – дополнительно – остаток фосфорной кислоты и аминоспиртов.



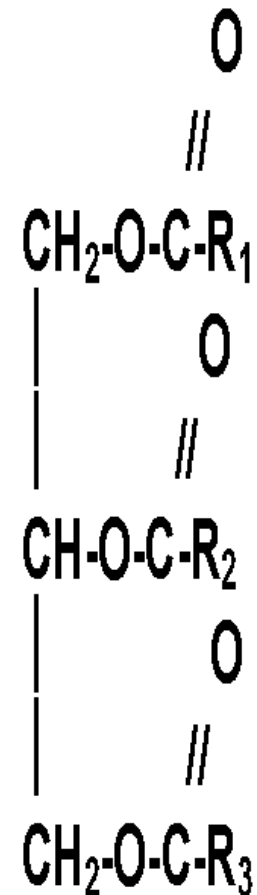
Природные липиды - смеси различных триацилглицеролов:



моноацилглицерол



диацилглицерол



триацилглицерол

Высшие жирные кислоты в составе липидов

- Жирные кислоты являются алифатическими длинноцепочечными карбоновыми кислотами. Наиболее часто встречаются 20 соединений, состав большинства природных липидов и фосфолипидов определяют 12 жирных кислот. Обычно в организме человека жирные кислоты включают в углеводородной цепи 16 и более атомов. При этом все жирные кислоты содержат четное число атомов. Они могут находиться в свободном состоянии – малые количества в клетках и тканях, в плазме крови в комплексе с альбуминами, или входить в состав липидов: триглицеридов, фосфолипидов, эфиров холестерина.

Высшие жирные кислоты в составе природных липидов

№ п/п	Историческое (традиционное) название кислоты	Индекс ЖК (количество атомов С: количество π-связей)	Семейство ЖК*	Положение π-связей Δ**
1	Пальмитиновая	16:0		
2	Стеариновая	18:0		
3	Пальмитоолеиновая	16:1	ω9	Δ ⁹
4	Олеиновая	18:1	ω9	Δ ⁹
5	Линолевая	18:2	ω6	Δ ^{9,12}
6	Линоленовая	18:3	ω3	Δ ^{9,12,15}
7	Арахидоновая	20:4	ω6	Δ ^{5,8,11,14}
8	Эйкозапентаеновая	20:5	ω3	Δ ^{5,8,11,14,17}
9	Докозапентаеновая	22:5	ω6	Δ ^{4,7,10,13,16}
10	Докозагексаеновая	22:6	ω3	Δ ^{4,7,10,13,16,19}

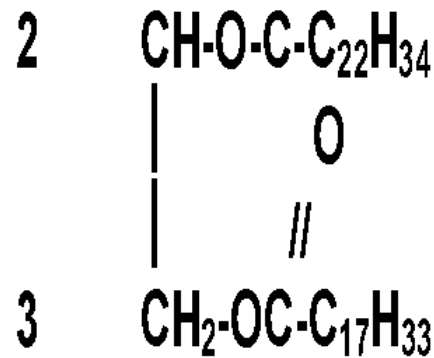
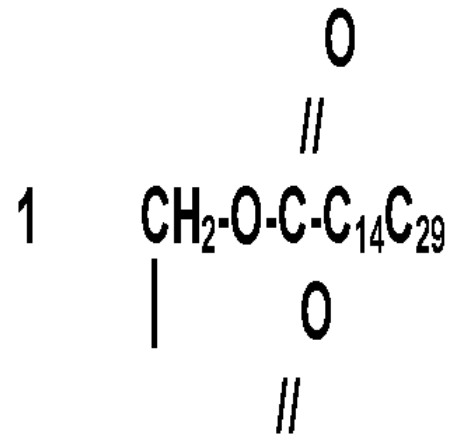
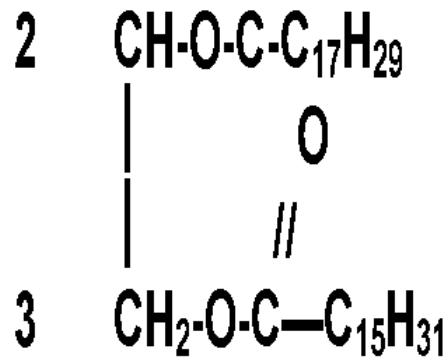
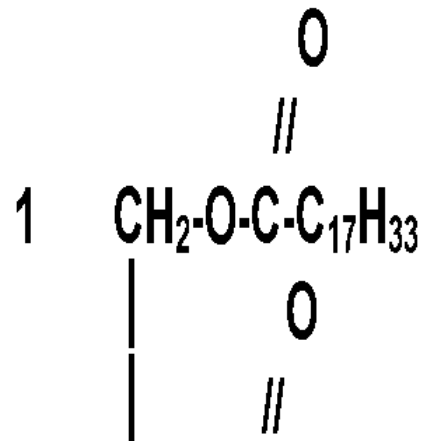
*-ω-число атомов углерода от двойной связи до концевой метильной группы

**-номера углеродных атомов, после которых расположены π-связи

Номенклатура жирных кислот основана на определении длины цепи и положения двойных связей в углеводородном радикале.

- Жирная кислота обозначается индексом, в котором длина цепи обозначается цифрой, через двоеточие обозначается количество двойных связей. Знаком Δ с соответствующей цифрой показывается удаление двойной связи от карбоксильной группы (т.е. от первого атома углерода).
- Среди ненасыщенных жирных кислот выделяют семейства омега-9 (ω 9 или n), омега-6 (ω 6) и омега-3 (ω 3) в соответствии с положением двойных связей относительно концевой метильной группы углеводородной цепи (т.е. последнего углеродного атома, наиболее удаленного от карбоксильной группы) (дистального конца). Например, насыщенная пальмитиновая кислота обозначается индексом (16:0), мононенасыщенная олеиновая кислота – (ω 9, 18:1, Δ 9), индекс арахидоновой кислоты (ω 6 20:4, Δ 5,8,11,14).

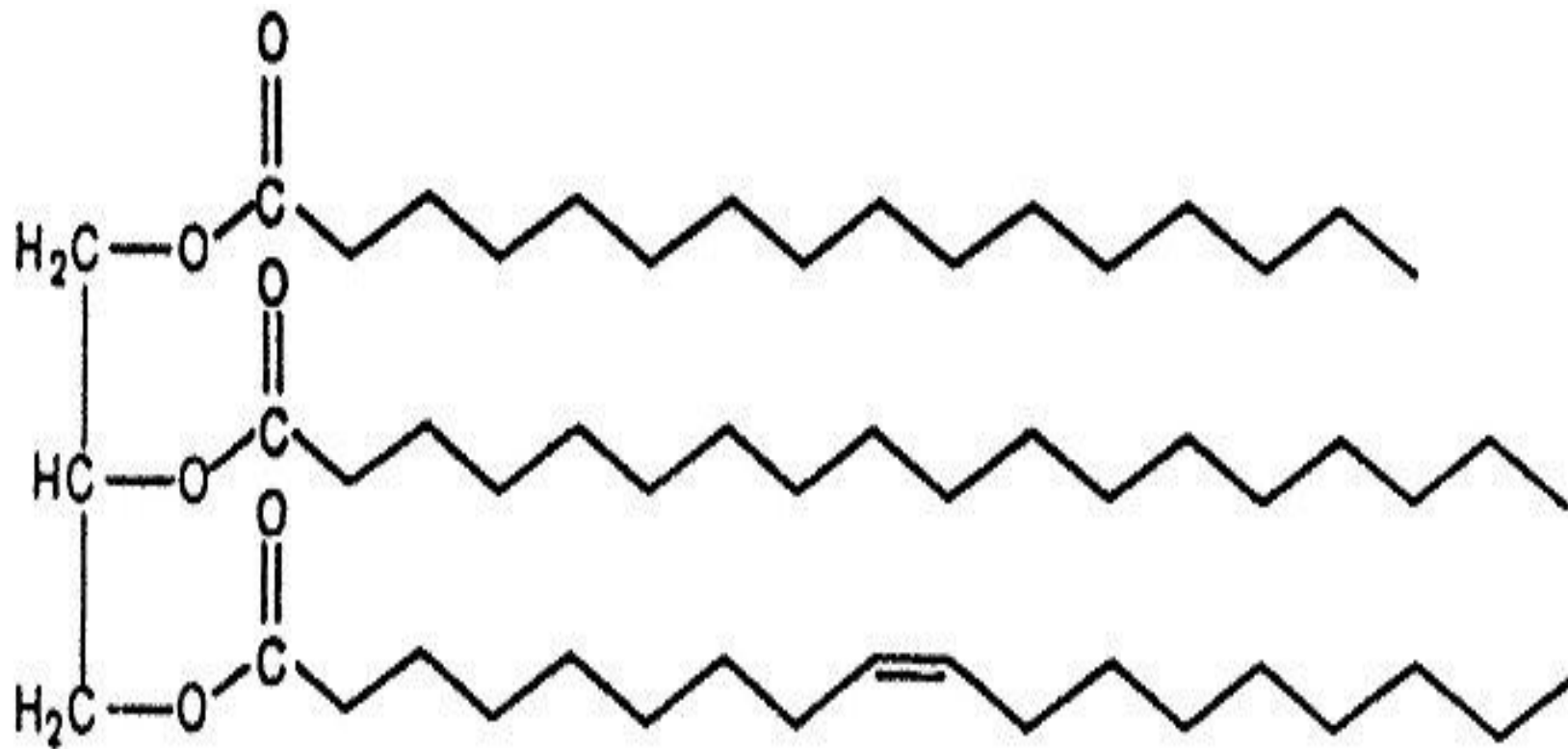
Примеры названий нейтральных липидов (триацилглицеролов).



2-О-Линоленоил-1-О-олеоил-
3-О-пальмитоилглицерол

2-докозагексаеноил-1-О-миристоил-
3-О-олеоилглицерол

Структура триацилглицеролов (триглицеридов)



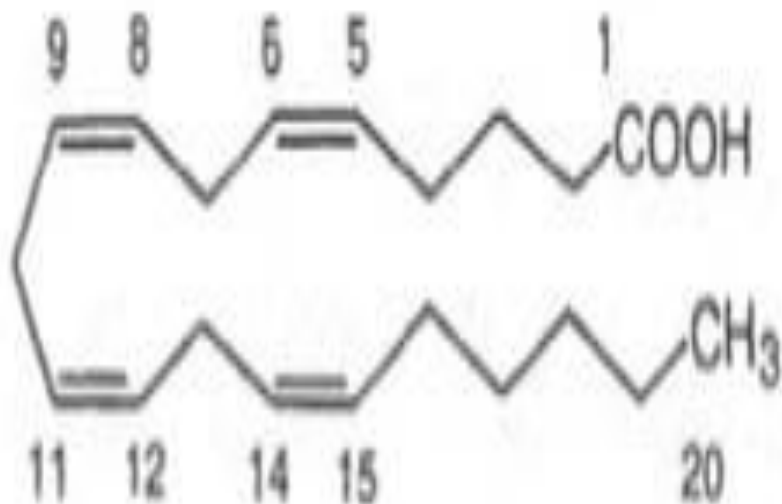
активным предшественником эйкозаноидов является входящая в состав фосфолипидов плазматических мембран арахидоновая кислота. Последняя освобождается из фосфолипидного бислоя мембраны Наиболее активным предшественником эйкозаноидов является входящая в состав фосфолипидов плазматических мембран арахидоновая кислота. Последняя освобождается из фосфолипидного бислоя мембраны при действии фосфолипазы A2.

В образовании эйкозаноидов В образовании эйкозаноидов принимают участие также и другие незаменимые жирные кислоты В образовании эйкозаноидов принимают участие также и другие незаменимые жирные кислоты (линолевая и α -линоленовая), но только после элонгации В образовании эйкозаноидов принимают участие также и другие незаменимые жирные кислоты (линолевая и α -линоленовая), но только после элонгации на два углеродных атома В образовании эйкозаноидов принимают участие также и другие незаменимые жирные кислоты (линолевая и α -линоленовая), но только после элонгации на два углеродных атома и десатурации, т.е. после превращения в 20-углеродные тетраеновые кислоты. Поэтому эйкозаноиды В образовании эйкозаноидов принимают участие также и другие незаменимые жирные кислоты (линолевая и α -линоленовая), но только после элонгации на два углеродных атома и десатурации

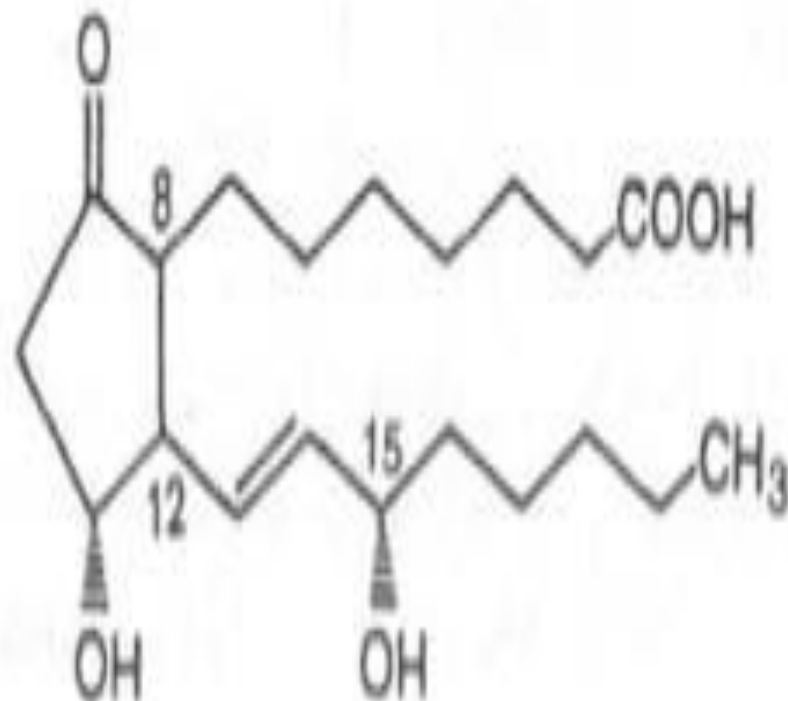
Схема биосинтеза эйкозаноидов



Простагландины (ПГ, Pg). По существу ПГ представляют собой 20-углеродные жирные кислоты, содержащие 5-углеродное кольцо и гидро-кси- и/или кетогруппы:



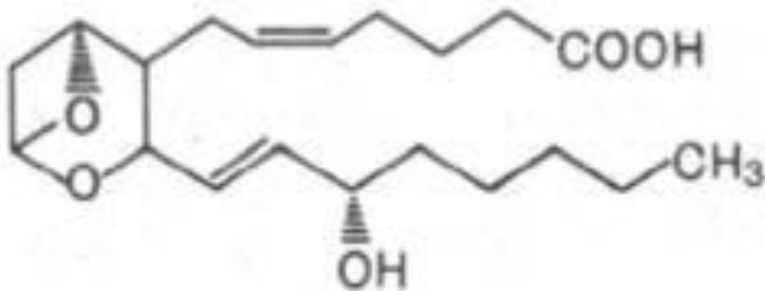
Арахидоновая кислота



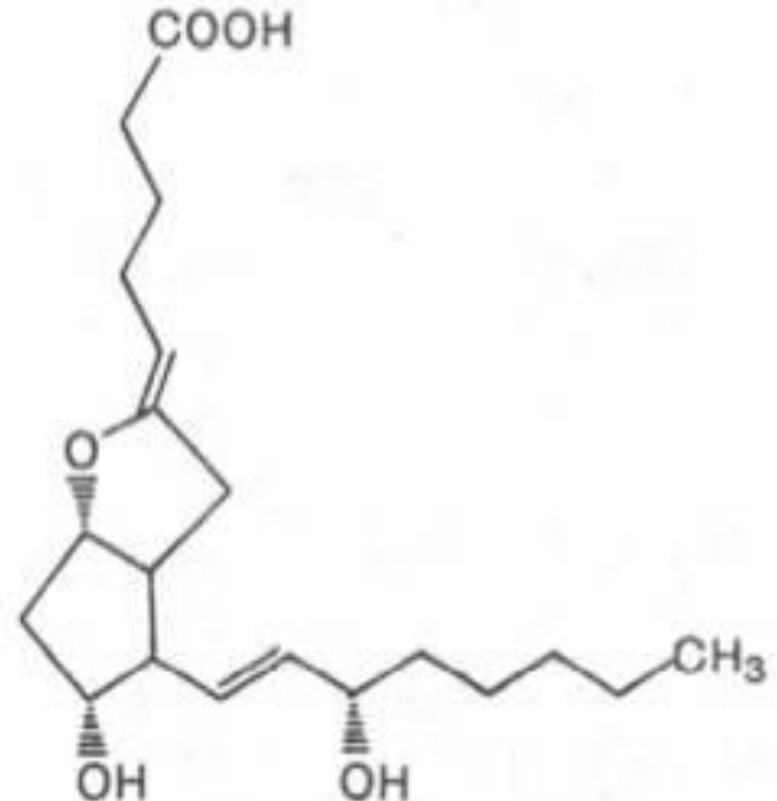
Простагландин E₁

- ПГ проявляют свое действие в чрезвычайно низких концентрациях ПГ проявляют свое действие в чрезвычайно низких концентрациях (1– 10 нг/мл). Будучи введенными в организм ПГ проявляют свое действие в чрезвычайно низких концентрациях (1– 10 нг/мл). Будучи введенными в организм, они вызывают сокращение гладкой мускулатуры, регулируют приток крови к определенному органу, оказывают влияние на кровяное давление ПГ проявляют свое действие в чрезвычайно низких концентрациях (1– 10 нг/мл). Будучи введенными в организм, они вызывают сокращение гладкой мускулатуры, регулируют приток крови к определенному органу, оказывают влияние на кровяное давление, контролируют транспорт ионов ПГ проявляют свое действие в чрезвычайно низких концентрациях (1– 10 нг/мл). Будучи введенными в организм, они вызывают сокращение гладкой мускулатуры, регулируют приток крови к определенному органу, оказывают влияние на кровяное давление, контролируют транспорт ионов через мембраны и т.д.
- В целом ПГ, не являясь гормонами В целом ПГ, не

Простациклины образуются в стенках кровеносных сосудов и являются сильными ингибиторами образуются в стенках кровеносных сосудов и являются сильными ингибиторами агрегации тромбоцитов. Таким образом, тромбоксаны и простациклины выступают как антагонисты. Поэтому соотношение тромбоксана и простациклина во многом определяет условия тромбообразования на поверхности эндотелия сосудов.



Тромбоксан A_2



Простациклин (PGI_2)

Происхождение высших ЖК и их биологическое действие

Растительные масла и липиды наземных животных содержат олеиновую 18:1 ω -9, линолевую кислоты 18:2 ω -6, в незначительном количестве – линоленовую 18:3 ω -3 кислоты.

Наиболее ненасыщенные пента- и гексаеновые жирные кислоты 20:5 и 22:6, относящиеся к ряду ω -3 кислот, находятся в липидах гидробионтов, в первую очередь в морской рыбе.

Существуют конкурентные взаимоотношения между метаболитами, образуемыми из ω -6 и ω -3 кислот.

Простагландины из ω -3 кислот снижают давление, а из ω -6 – повышают;

Тромбоксаны из ω -3 кислот снижают свертываемость, а из ω -6 – повышают;

Лейкотриены из ω -3 кислот усиливают иммунитет, а из ω -6 – понижают его, способствуют развитию воспалительных реакций

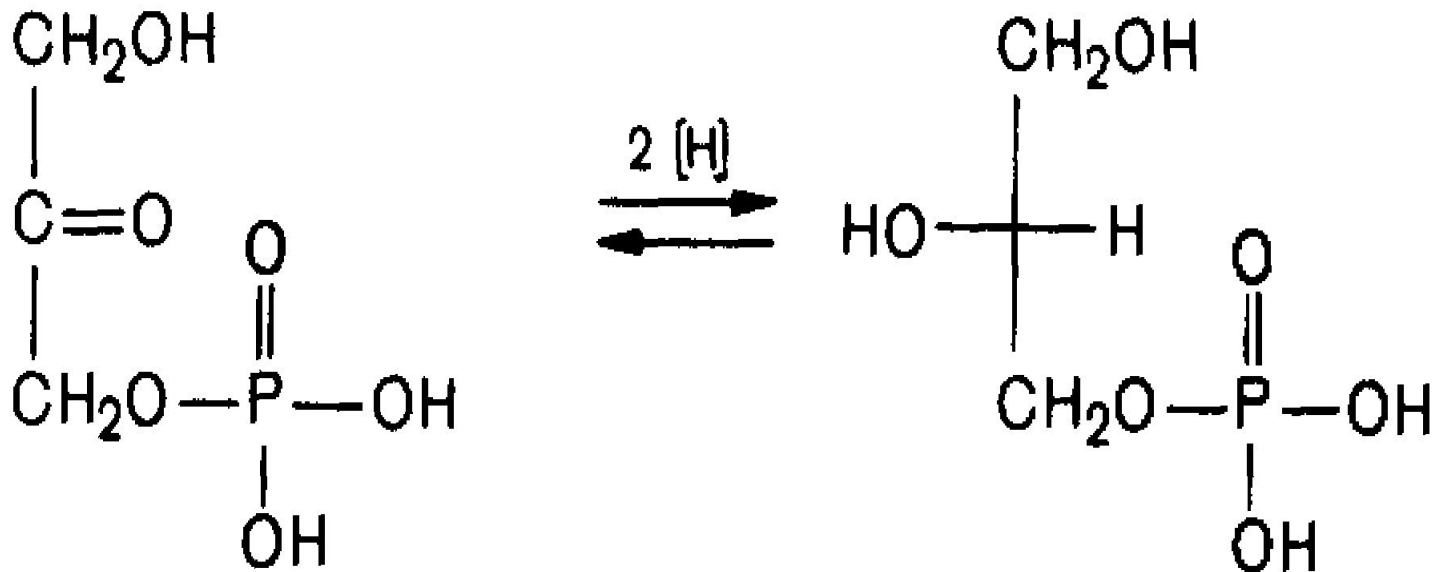
Таким образом, в структуре питания должно быть оптимальное соотношение кислот ω -3 и ω -6 рядов (1:3).

Показано, что липиды, содержащие ω -3 кислоты, проявляют гипохолестеринемическое, антиаритмическое, иммуномоделирующее действие. Употребление липидов или рыбы не менее 2-3 раз в неделю вдвое снижает риск внезапной смерти от сердечно-сосудистых катастроф, увеличивает выживаемость при онкологических заболеваниях.

- Структура сложных
липидов

- Глицерофосфолипиды

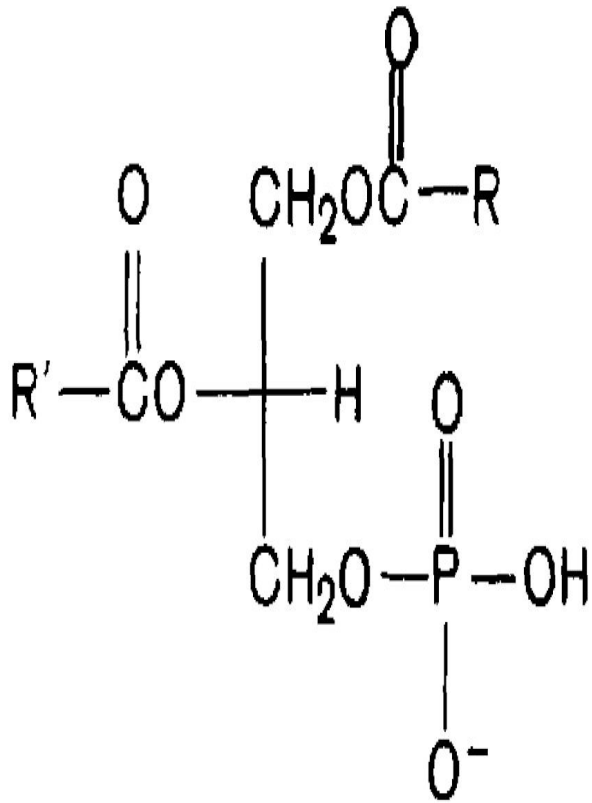
Глицерофосфолипиды – производные глицерол-3-фосфата.
Природные глицерофосфолипиды имеют одинаковую конфигурацию и являются производными L-глицерол-3-фосфата, образующегося из дигидроксиацетонфосфата под действием фермента *глицерофосфатдегидрогеназы*



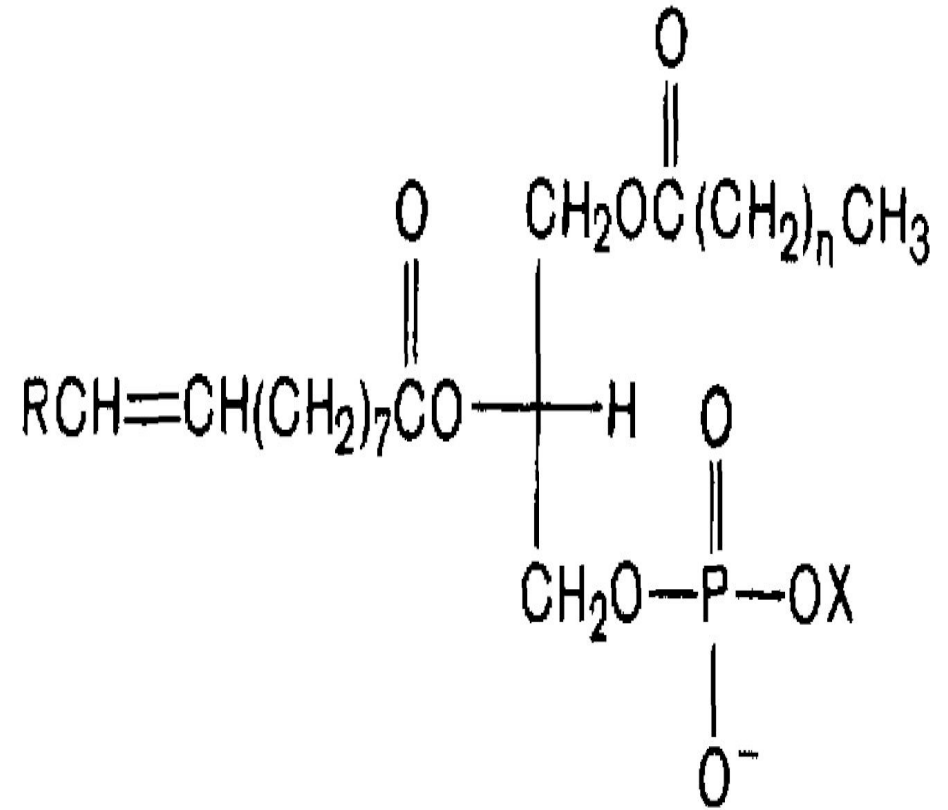
Фосфат дигидроксиацетона

L-глицеро-3-фосфат

Среди глицерофосфолипидов наиболее распространены L-фосфатиды:



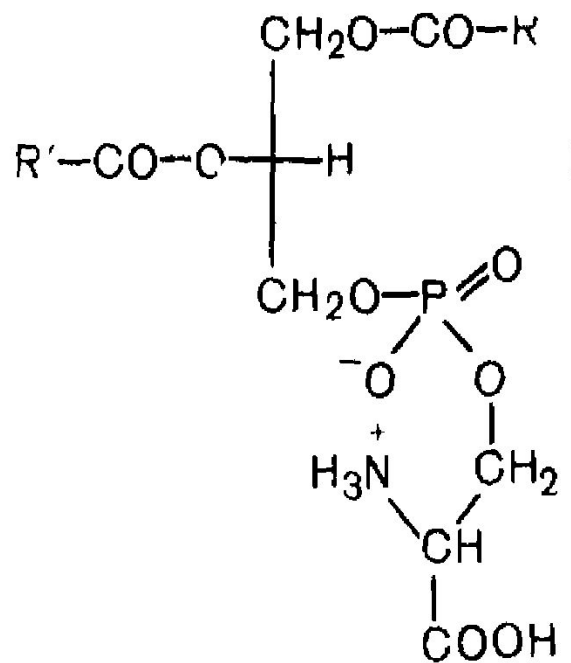
L-фосфатидовые кислоты



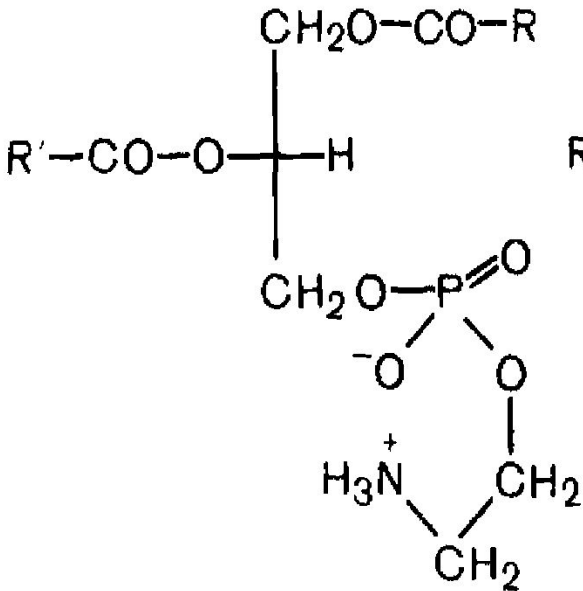
Фосфатид (общая структура)

Как правило, в природных фосфатидах в положении С1 находится остаток насыщенной ЖК, а в положении С2 – ненасыщенной. Оставшаяся свободной одна из ОН-групп фосфорной кислоты при физиологических значениях рН ($\approx 7,4$) ионизирована. Примерами соединений этого класса являются фосфатидилинозитол, фосфатидилэтаноламин, фосфатидилсерин,

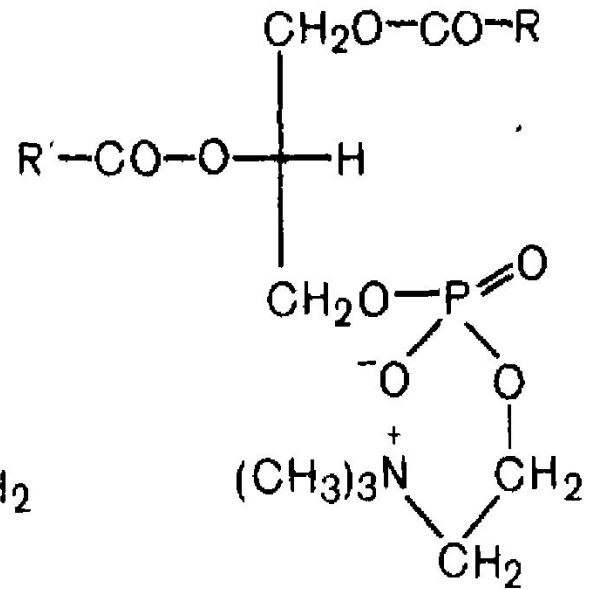
фосфатидилэтаноламин.



Фосфатидилсерины
(серинкефалины)



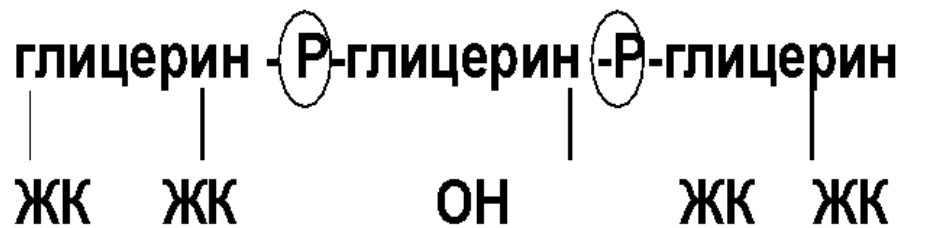
Фосфатидилэтаноламины
(ноламиннефалины)



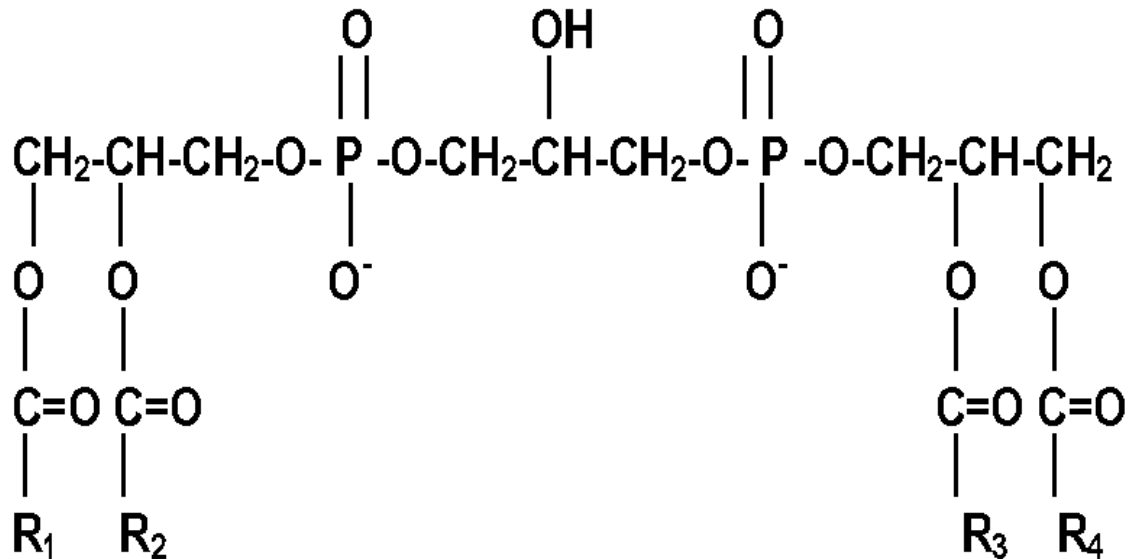
Фосфатидилхолины
(лецитины)

Структура кардиолипина – фосфолипида, выделяемого из сердечной мышцы

В состав кардиолипина входят наиболее ненасыщенные ЖК. Общая формула кардиолипина может быть представлена схемой:

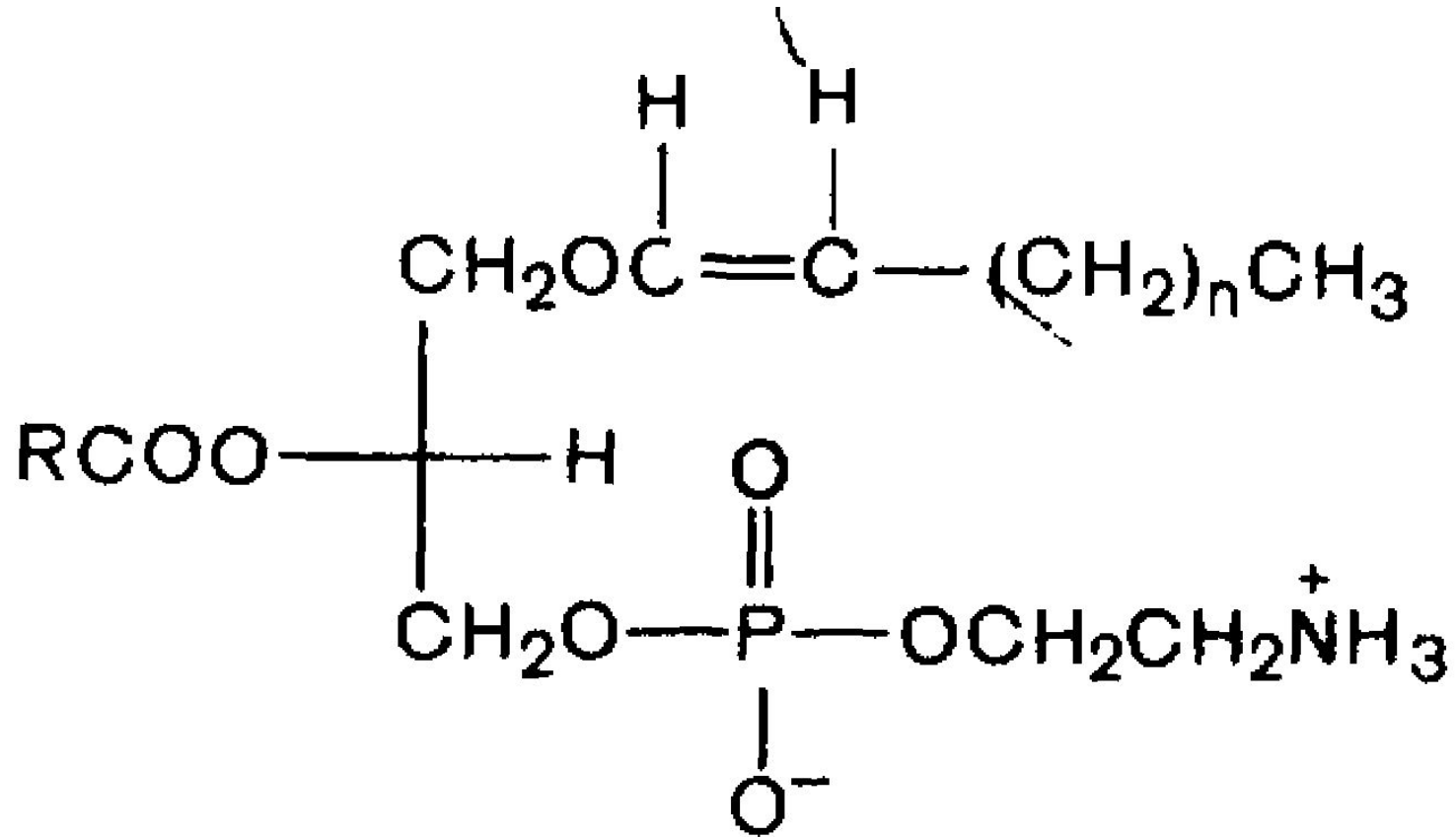


Общая формула кардиолипина:



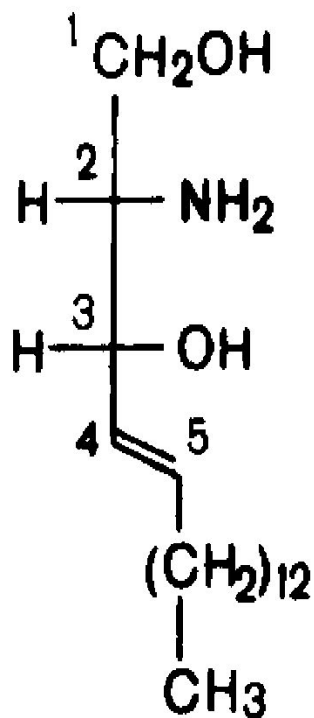
Дифосфатидилглицерол (кардиолипин)

Несколько менее распространены липиды с простой эфирной связью – плазмалогены:

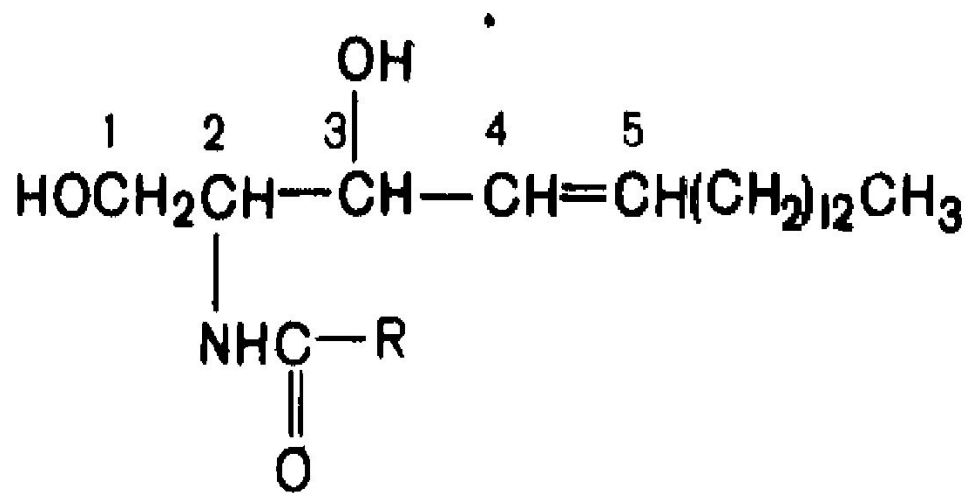


L-фосфатидальэтанолламины (n=9–15)

Сфинголипиды представляют собой структурные аналоги глицерофосфолипидов, где вместо глицерина используется сфингозин – ненасыщенный длинноцепочечный двухатомный аминоспирт. Примерами сфинголипидов служат церамиды – N-ацильные производные сфингозина, аминогруппа которых ацилирована ЖК:

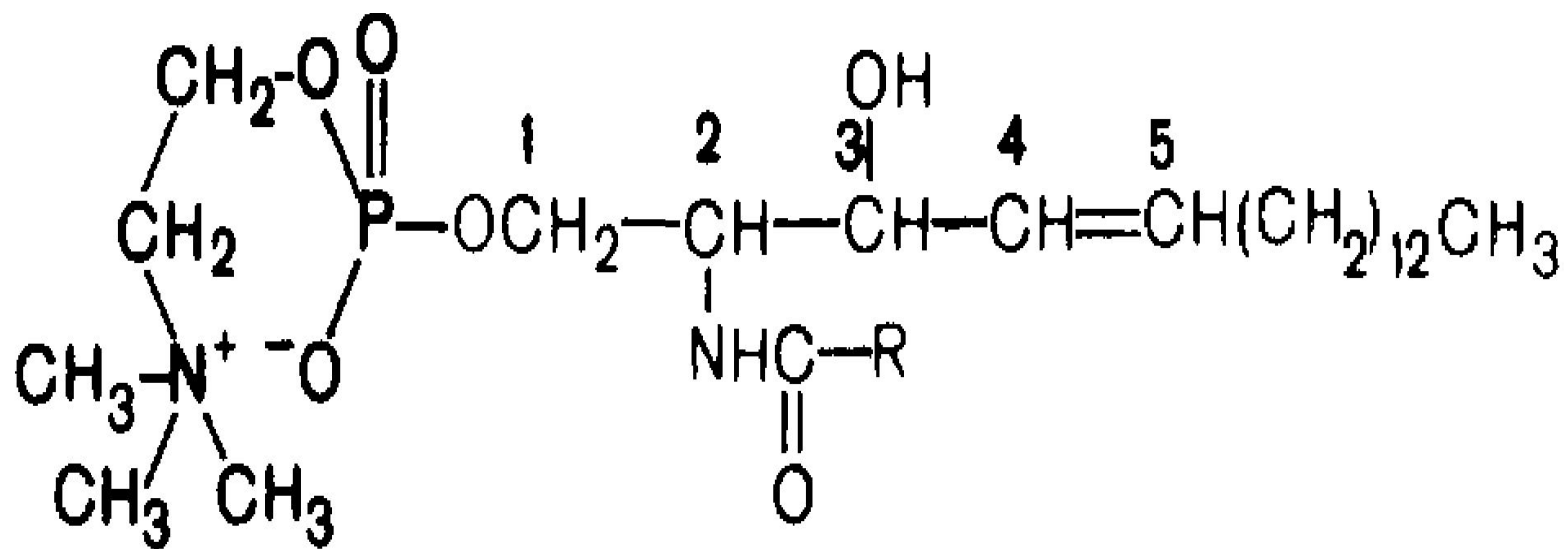


Сфингозин



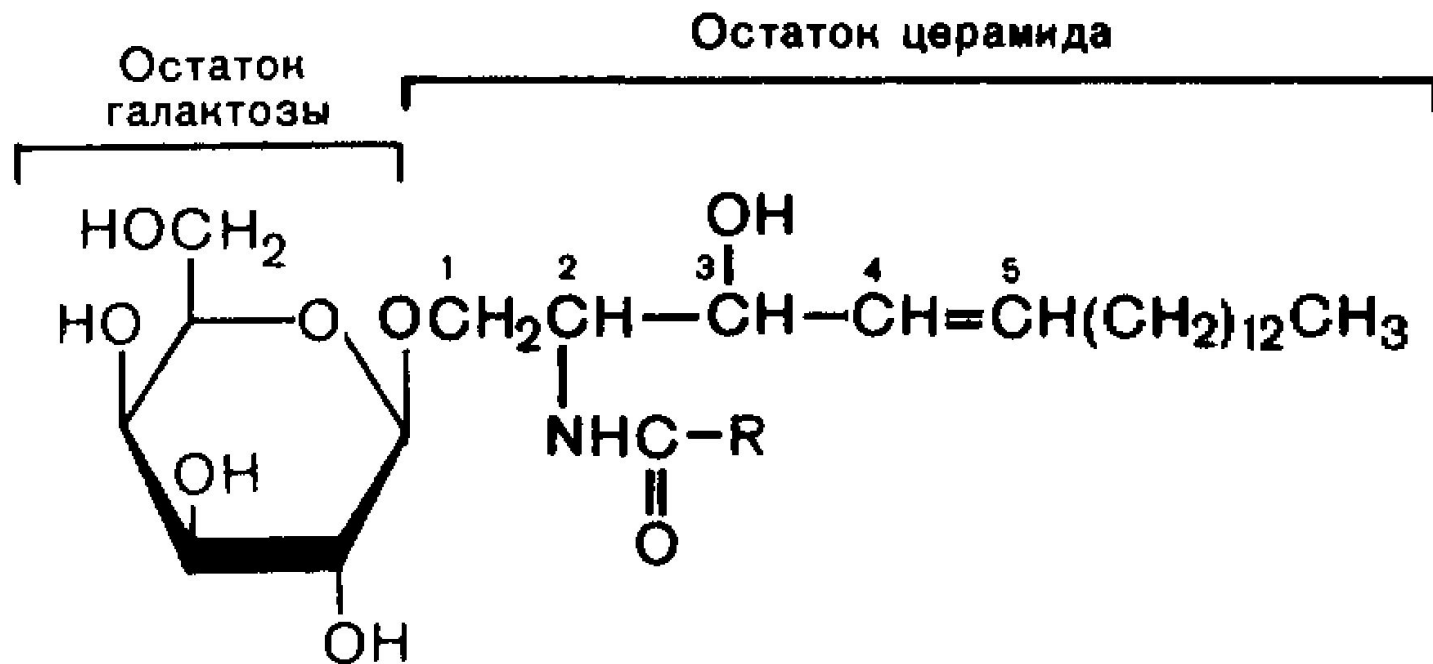
Церамид

Важную группу сфинголипидов составляют сфингомиелины, впервые обнаруженные в нервной ткани. В сфингомиелинах гидроксил С1 церамида ацилирован фосфорилхолиновой группой, поэтому их также можно отнести и к фосфолипидам:



Сфингомиелин

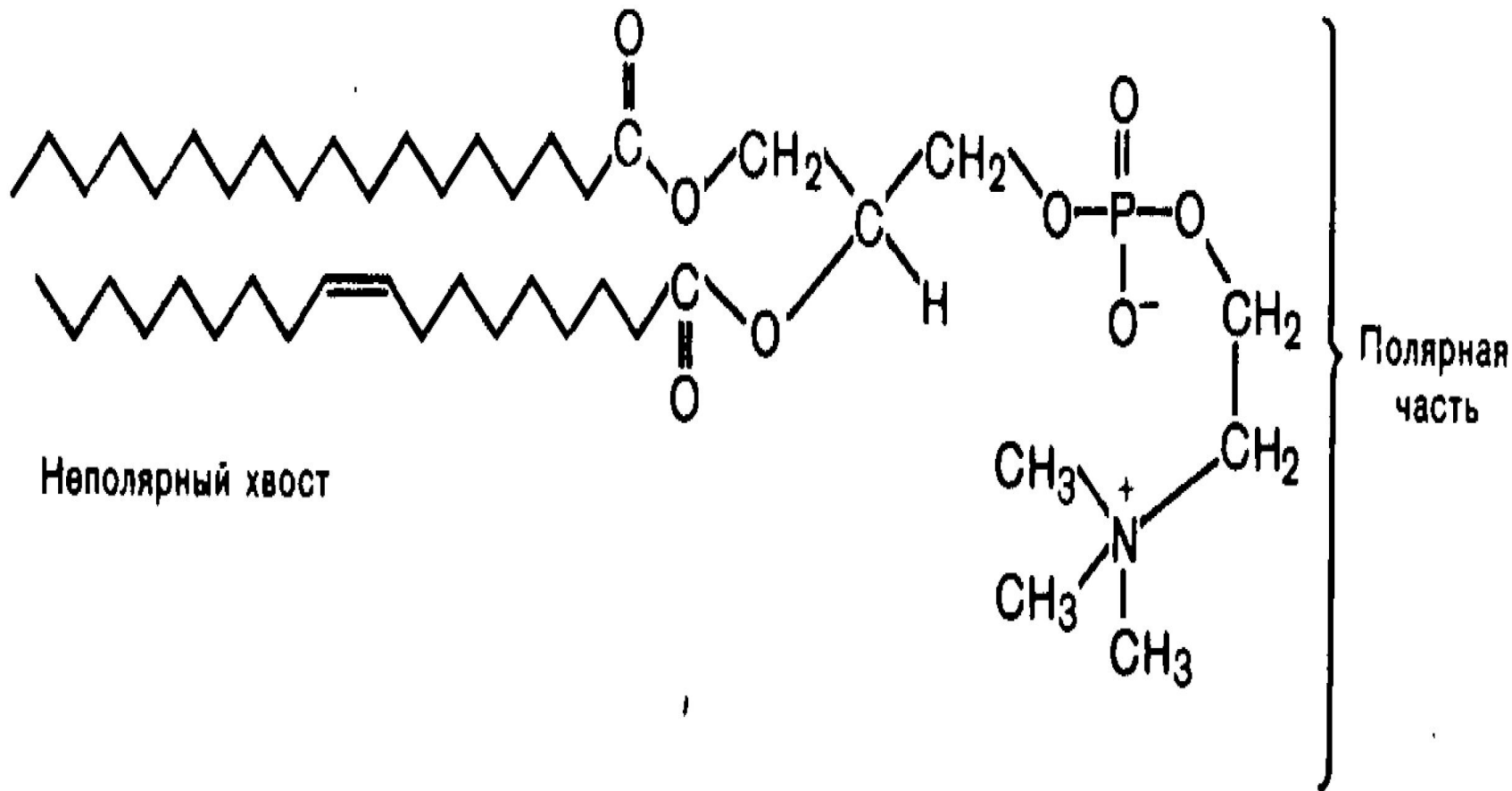
Гликолипиды включают углеводные остатки, чаще всего D-галактозу, и не содержат остатков фосфорной кислоты и связанных с ней азотистых оснований. Типичные представители гликолипидов – цереброзиды и ганглиозиды. Оба этих соединения являются сфингозинсодержащими липидами, вследствие чего их можно отнести и к сфингозинам. В цереброзидах, содержащихся в миелиновых оболочках нервных волокон остаток церамида связан с D-галактозой или D-глюкозой β -гликозидной связью:



Галактоцереброзид

Ганглиозиды – богатые углеводами сложные липиды, впервые выделенные из серого вещества головного мозга. В структурном отношении они сходны с цереброзидами, отличаясь тем, что вместо моносахарида они содержат олигосахаридный остаток сложной структуры.

Характерной особенностью сложных липидов является их бифильность, обусловленная присутствием в составе их молекул неполярных гидрофобных и высокополярных ионизированных гидрофильных

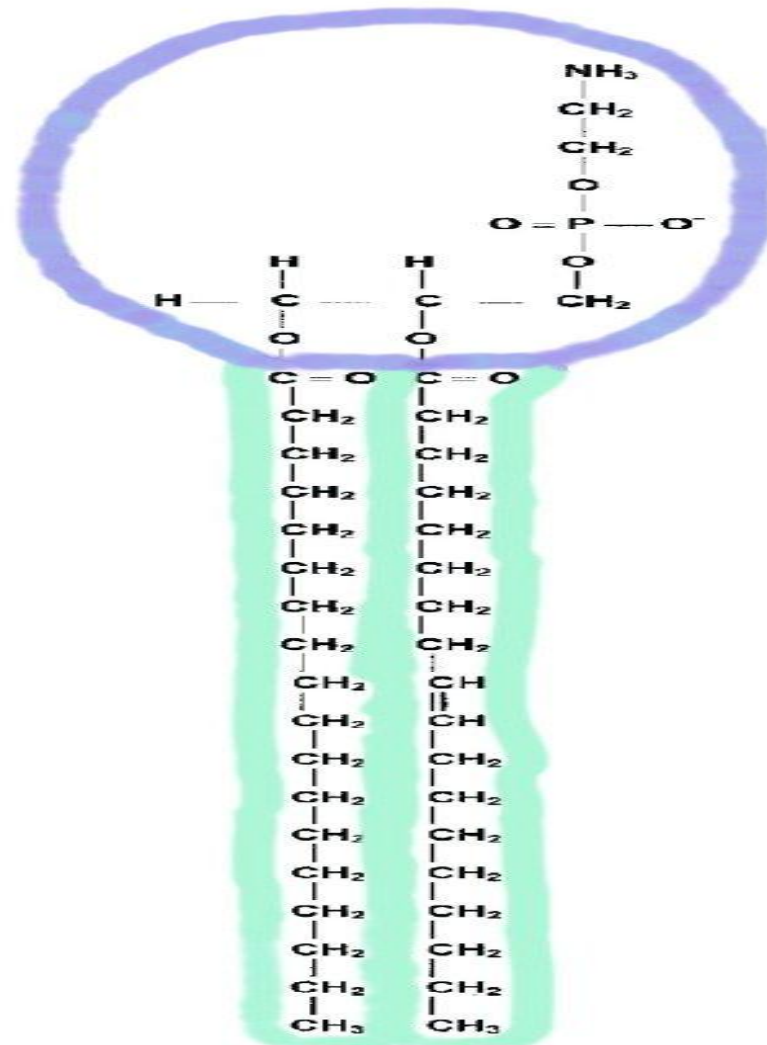


Неполярный хвост

Полярная часть

Фосфатидилхолин (лецитин)

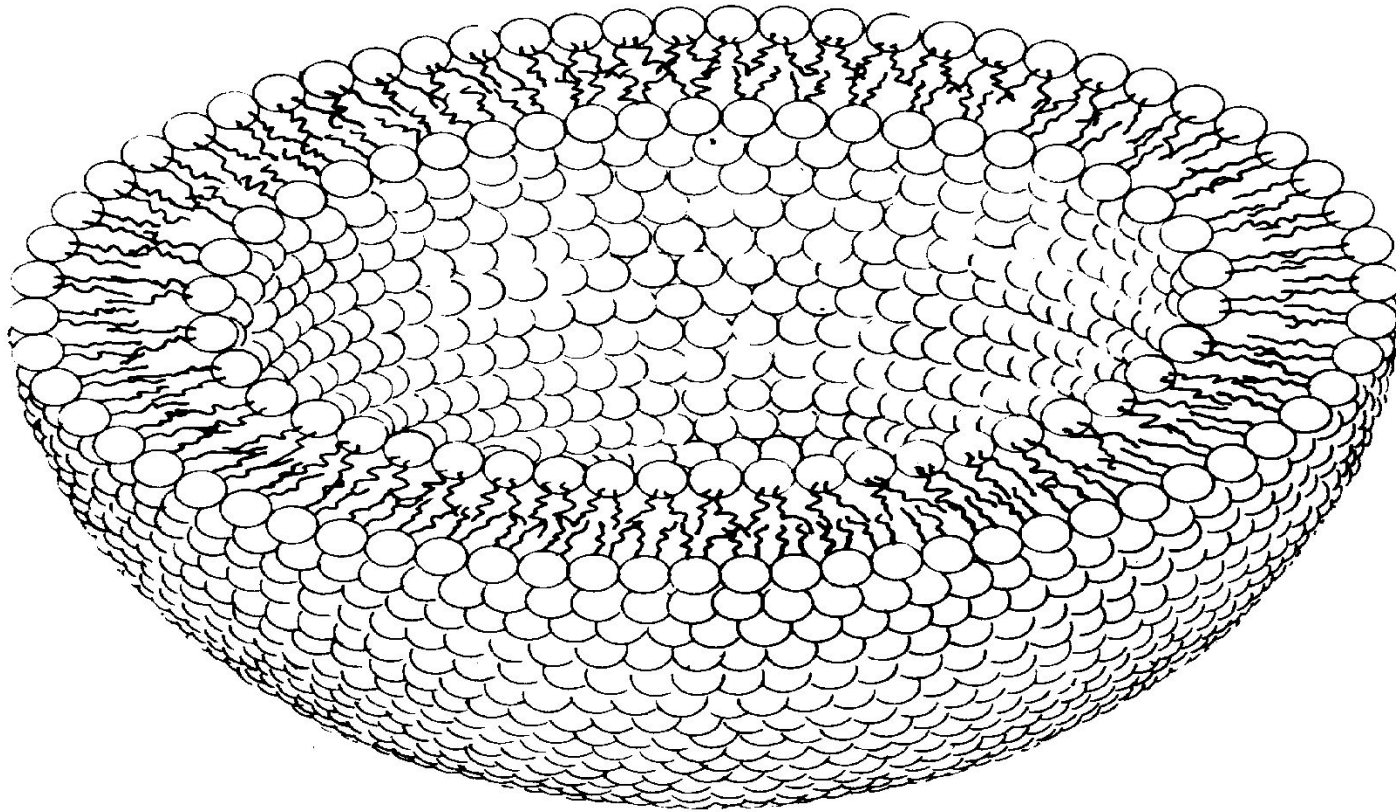
Гидрофильная
часть
(Полярная
головка)



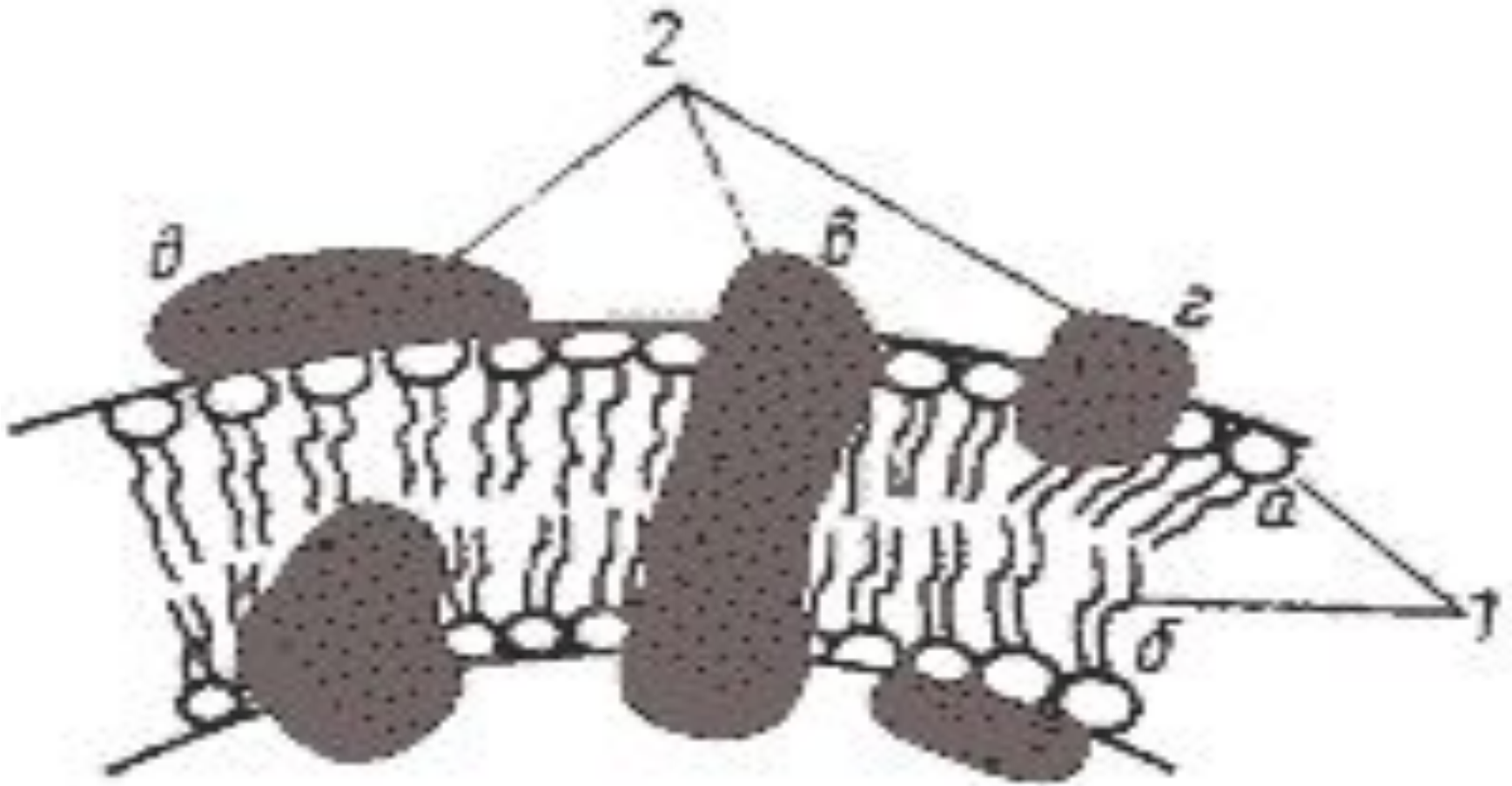
Гидрофобная
часть
(Неполярный
хвост)



На поверхности раздела двух водных фаз полярные фосфолипиды самопроизвольно формируют бислои. В таких структурах углеводородные “хвосты” липидных молекул направлены внутрь от обращенных к каждой из фаз поверхностей и образуют внутренний непрерывный углеводородный слой, а располагающиеся снаружи гидрофильные “головки” оказываются погруженными в водный слой



Фрагмент структуры биологических мембран



Плазматическая мембрана

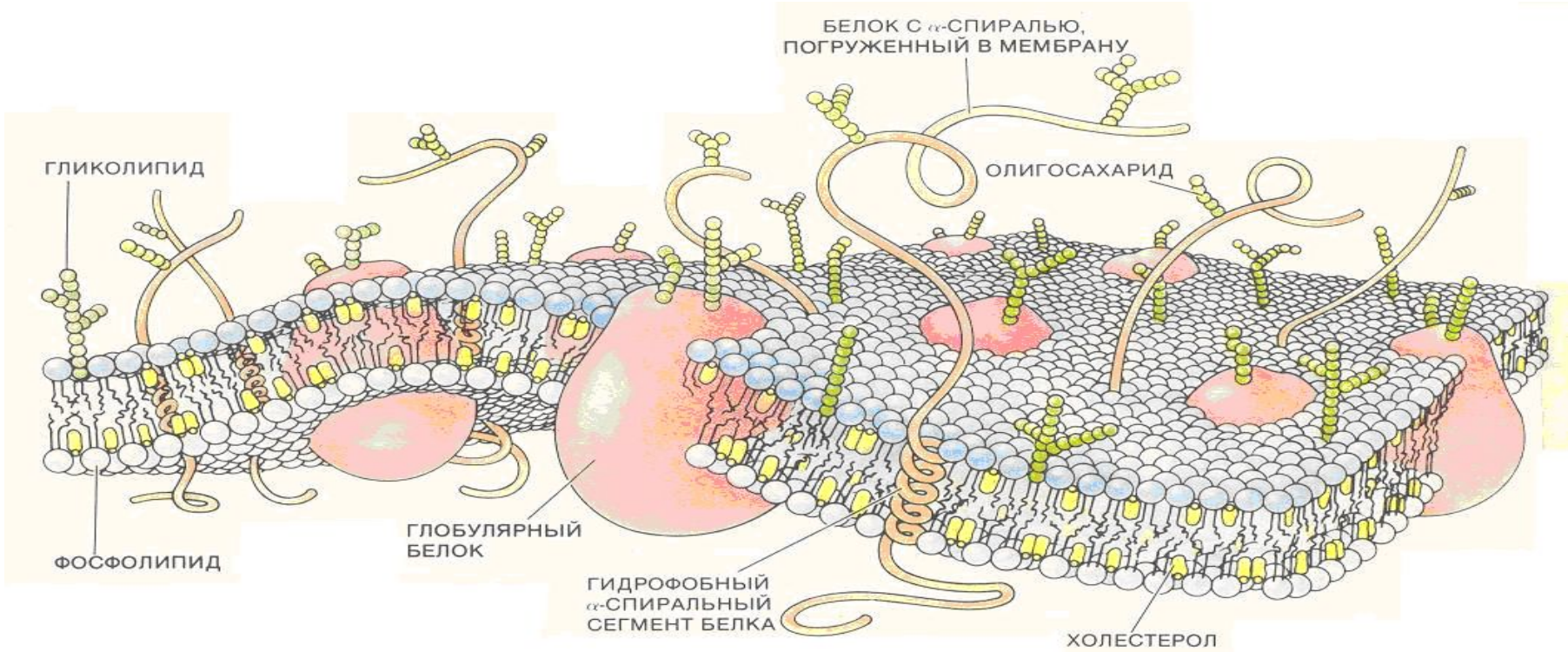
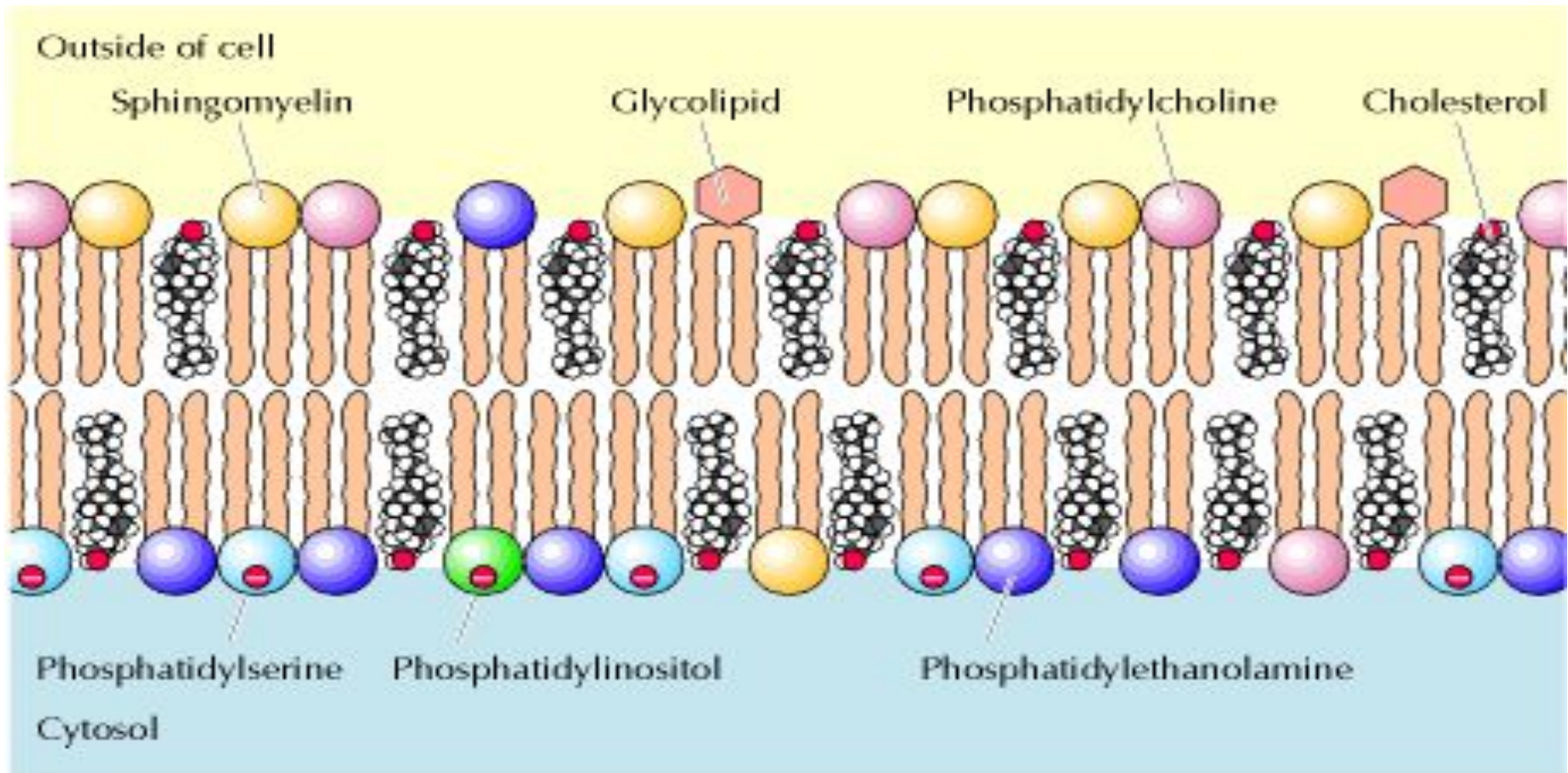


Рис.3.

ПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ МЕМБРАНА представляет собой двойной слой фосфолипидов, в который погружены молекулы холестерина и различных белков. Молекулы фосфолипидов, обращенные к внешней среде (на рисунке это верхний слой мембраны), показаны в виде темно-синих кружков, к каждому из которых присоединено по два извитых «хвоста». Жидкостные свойства углеводородной внутренней области бислоя отражены в неупорядоченном расположении хвостов. Слой, обращенный к цитоплазме (на рисунке нижний), имеет иной фосфолипидный состав, поэтому он раскрашен в другой (светло-голубой) цвет. В пределах монослоя молекулы могут перемещаться; движение их имеет хаотический характер (показано на схеме слева). Перенос фосфолипидов между слоями также случается, но частота его очень низка. Бислой пронизан молекулами белков двух типов. Белки первого типа пересекают мембрану одной цепочкой аминокислот, имеющей конформацию α -спирали (оранжевые). Белки второй группы образуют внутри мембраны глобулярные структуры (красные). Для наглядности количественное отношение фосфолипидов к белкам на этой схеме значительно выше, чем в природных мембранах. Жесткие молекулы холестерина (желтые) делают хвосты фосфолипидов вблизи гидрофильных головок относительно неподвижными и упорядоченными. Участки хвостов, расположенные ближе к середине мембраны, изменяют свое положение свободно. К некоторым белкам и липидам присоединены олигосахариды (зеленые).

Липидные компоненты плазматической мембраны.

Во внешнем слое липидного бислоя преобладают фосфатидилхолин, сфингомиелин и гликолипиды. Во внутреннем слое - молекулы – фосфатидилсерина, фосфатидилэтаноламина и фосфатидилинозитола. Молекулы холестерина имеются как во внешнем так и во внутреннем слое. Отмечен отрицательный заряд полярных групп в молекулах фосфатидилсерина и фосфатидилинозитола.



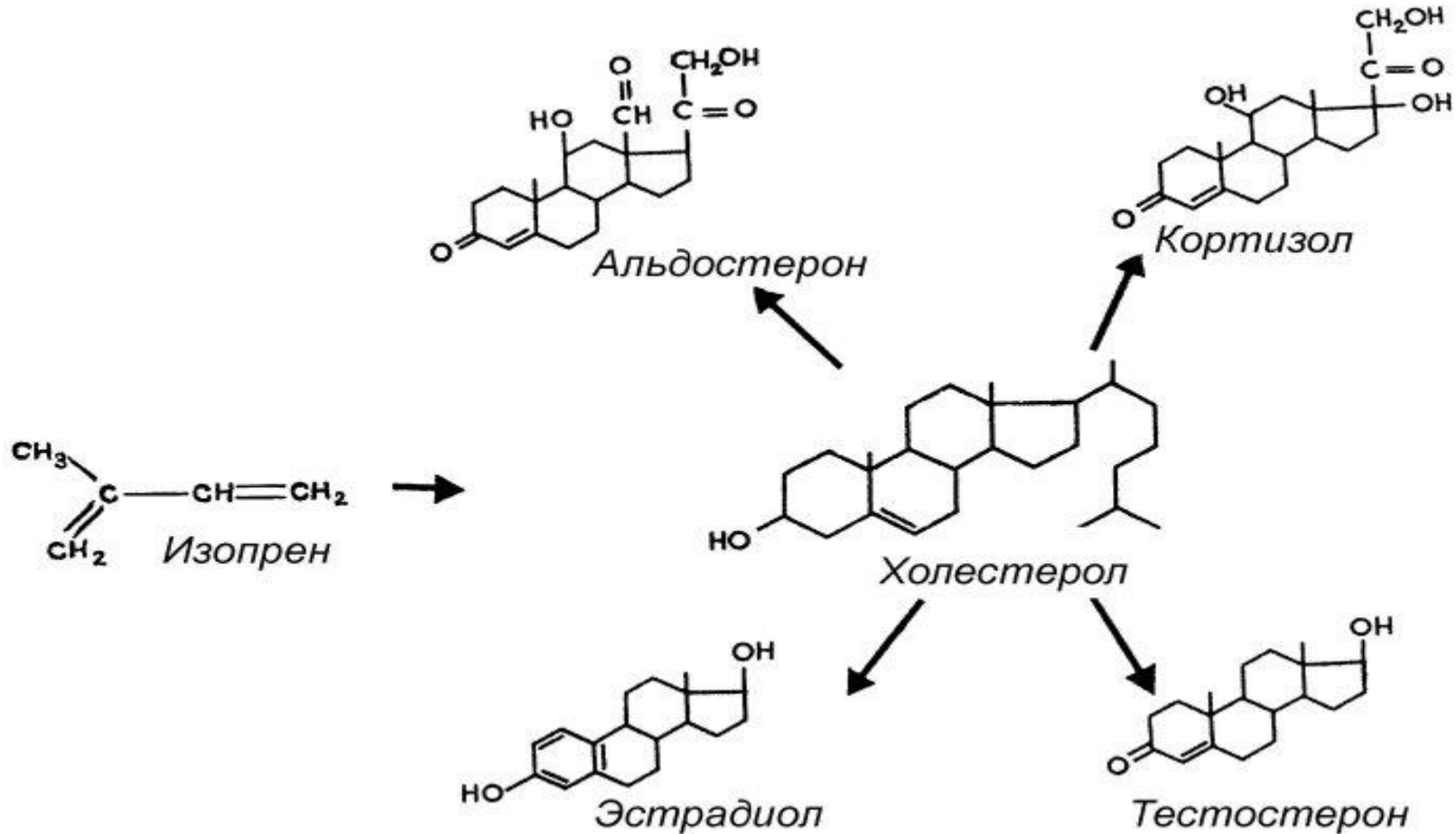
Мембраны двух соседних нервных клеток (электронный микроскоп, увелич. в 400 000 раз). Каждая мембрана имеет толщину 75 А и видна в виде двух тёмных полос, разделённых более светлой полосой, толщиной 35 А. Щель между клетками достигает 150 А. Две тёмные полосы соответствуют белковому слою, а светлая полоса между ними — липидному слою.



Неомыляемые (сопутствующие) вещества

- 1. Жирорастворимые витамины (А, Е, D, К, убихинон Q_{10}) локализованы в биологической мембране совместно с фосфолипидами. Многие из этих витаминов выполняют антиоксидантную функцию.

Стероиды



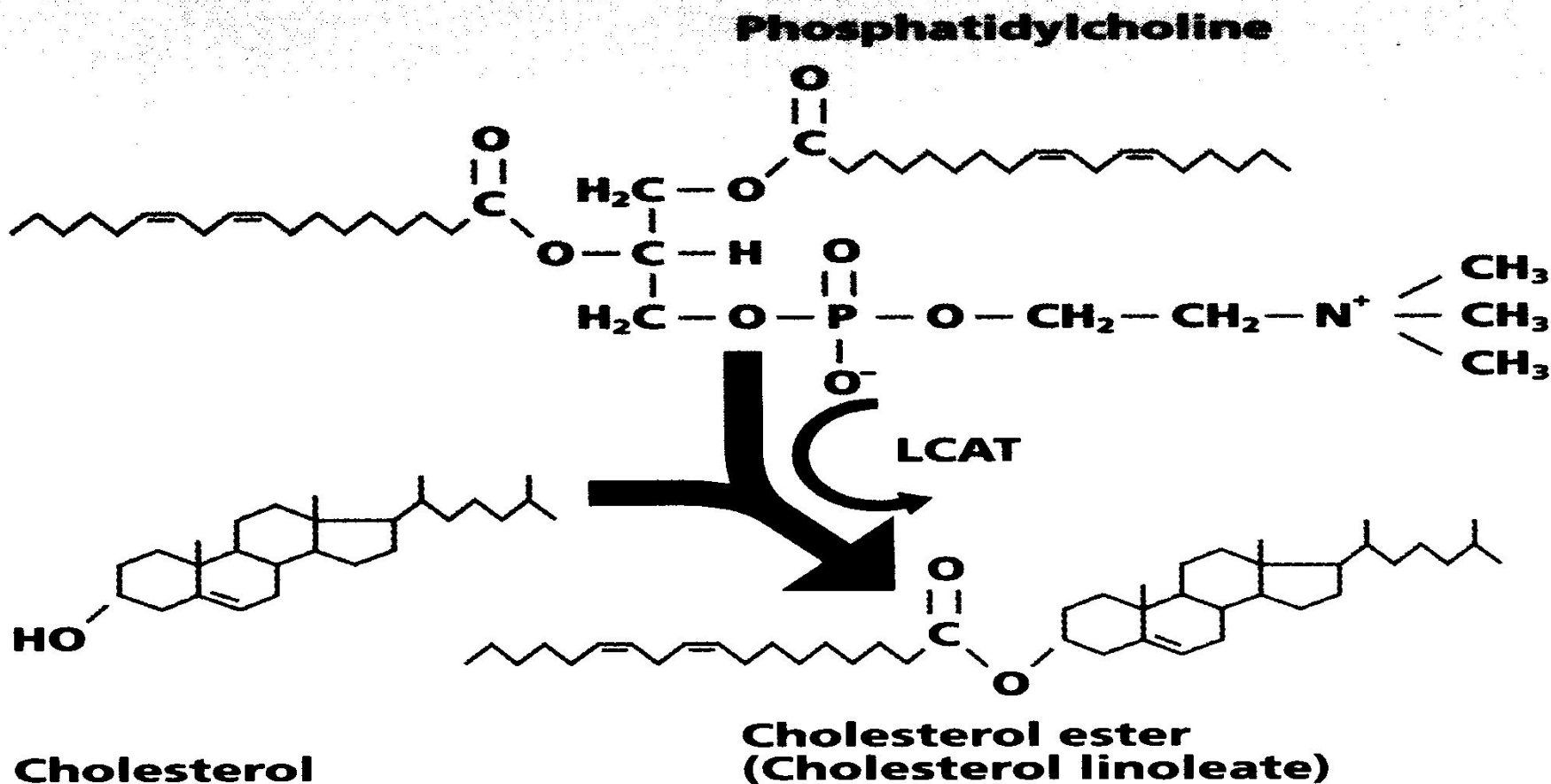
Биологическая роль липидов

Структурная функция. Молекулы фосфолипидов обладают поверхностно-активными свойствами. В водных растворах спонтанно образуют мицеллы. Фосфолипиды являются основными компонентами биологических мембран (85%).

Трансформационная функция. Линоленовая, арахидоновая и эйкозапентаеновая кислоты в организме человека трансформируются в эйкозаноиды -высокоактивные биогенные соединения, являющимися модуляторами функционирования практически всех систем организма. Ввиду исключительной биологической ценности ПНЖК они являются эссенциальными (незаменимыми) (витамин F).

Энергетическая и резервная функция. Калорийность липидов примерно в в 2 раза выше калорийности белков и углеводов, поэтому они являются существенными источниками энергии и скапливаются в “жировом депо” человека в качестве запасного субстрата для синтеза АТФ.

Транспортная функция. Липиды являются переносчиками жирорастворимых витаминов группы А, D, Е, К, способны модулировать их физиологическую активность. ПНЖК под влиянием фермента лецитин-холестеринацилтрансферазы (ЛХАТ) образуют с холестерином сложные эфиры, которые более легко удаляются из организма и являются менее атерогенными.



Функциональная классификация липидов:

- резервные;
- структурные;
- транспортные.

- **Транспортные и плазменные липопротеины.**
- Все липиды за исключением свободных жирных кислот попадают в плазму крови в виде макромолекулярных комплексов – **липопротеинов.**
- Липопротеины в отличие от остальных липидов растворимы в воде, что определяется их строением.

- **Липопротеины** представляют собой сферические частицы (мицеллы), состоящие в **наружном полярном слое** из смеси белков, холестерина и фосфолипидов, а во внутреннем слое из неполярных молекул триглицеридов, свободного и этерифицированного холестерина. Такое строение обеспечивает растворимость комплексов липопротеинов в воде.
- **Классификация липопротеинов** зависит от их плотности, а плотность – от содержания в них липидов. Чем больше липидов - тем меньше плотность.

Различают 4 класса плазменных липопротеинов:

хиломикроны;

липопротеины очень низкой плотности (ЛПОНП);

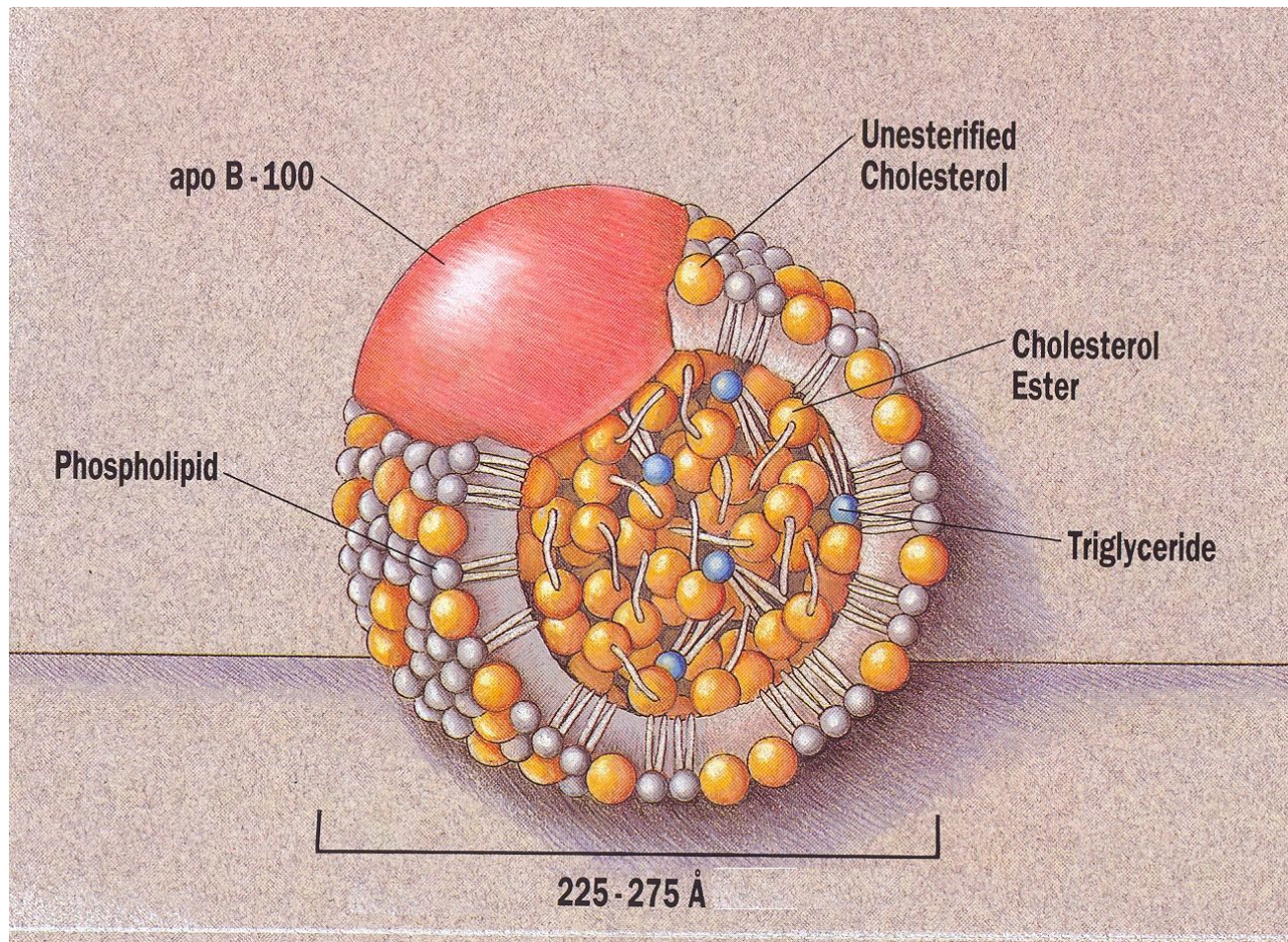
липопротеины низкой плотности (ЛПНП);

липопротеины высокой плотности (ЛПВП).

Функции транспортных липопротеинов плазмы.

Все липопротеины выполняют транспортную роль. Они переносят экзогенные, всосавшиеся из кишечника триглицериды и холестерин в печень. От печени, где синтезируются эндогенные фосфолипиды и холестерин, липопротеины транспортируются ко всем внутренним органам, где используются. Поэтому липопротеины плазмы называют транспортными формами липидов. Каждый класс липопротеинов транспортирует ту фракцию липидов, которая в нем преобладает.

Липопротеины низкой плотности

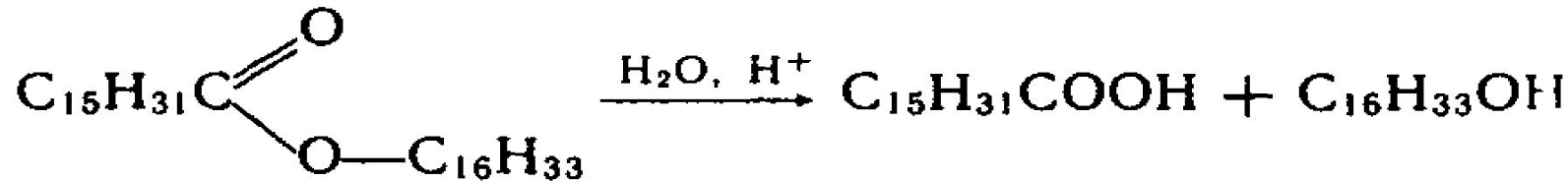


- Фосфолипиды наружной оболочки липопротеинов связаны со специфическими белками - **аполипопротеинами или апопротеинами.**
- **Аполипопротеины связываются с фосфолипидами** за счет гидрофобных взаимодействий между жирнокислотными цепями фосфолипидов и неполярными областями белковой структуры.
- Ионные взаимодействия между полярными группами головок фосфолипидов и парами противоположно заряженных аминокислот в альфа-спиральных участках апопротеинов играют вторичную стабилизирующую роль.
-

- **Аполипопротеины выполняют три основные функции:**
- 1. помогают солюбилизировать (обеспечивают растворимость) в воде эфиров холестерина и триглицеридов
- 2. регулируют реакции липидов 2. регулируют реакции липидов и липопротеинов 2. регулируют реакции липидов и липопротеинов с ферментами (ЛХАТ , липопротеинлипазой и печеночной липазой).
- 3. связываются с рецепторами 3. связываются с рецепторами на поверхности клеток, запуская перенос липидов внутрь клетки и определяя таким образом места захвата холестерина .

Химические свойства ОМЫЛЯЕМЫХ ЛИПИДОВ

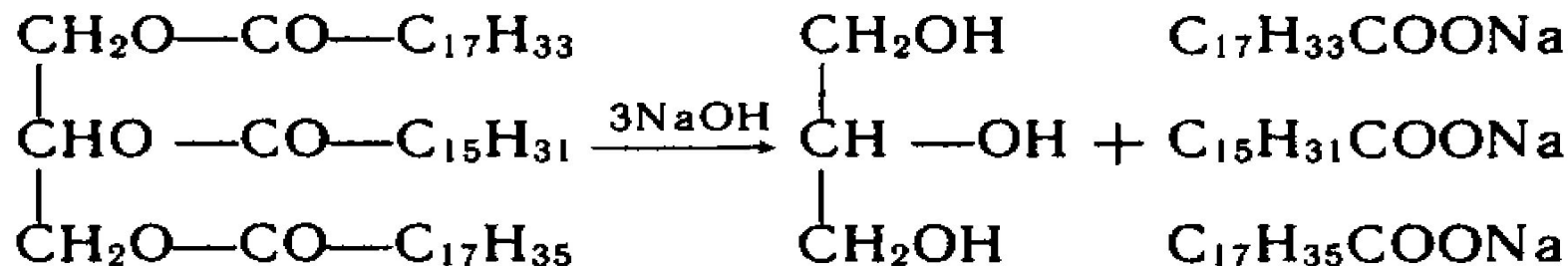
- **Реакция гидролиза** – гидролиз - первая стадия процесса утилизации жиров в организме. Кроме того, с помощью этой реакции можно устанавливать структуру липидов, а также получать мыла (Са- и Mg-соли высших карбоновых кислот). Реакцию гидролиза осуществляют либо под воздействием перегретого пара (промышленный метод), либо при нагревании в присутствии водных растворов минеральных кислот и щелочей (омыление). Все эти реакции проходят по схеме бимолекулярного нуклеофильного замещения S_{N2} . В организме гидролиз осуществляется под действием ферментов – липаз.



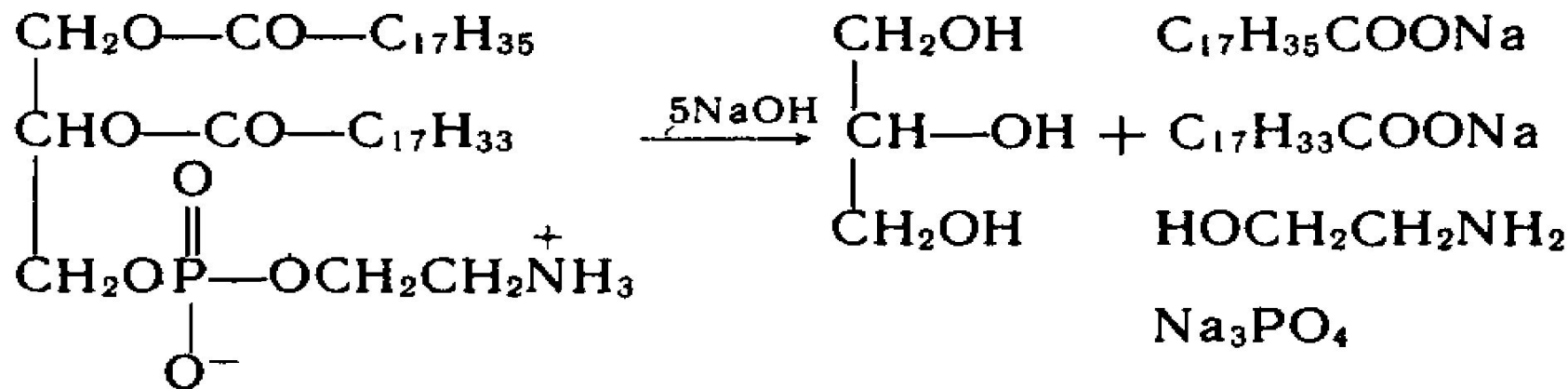
Цетилпальмитат

Пальмитино-
вая кислота

Цетиловый
спирт

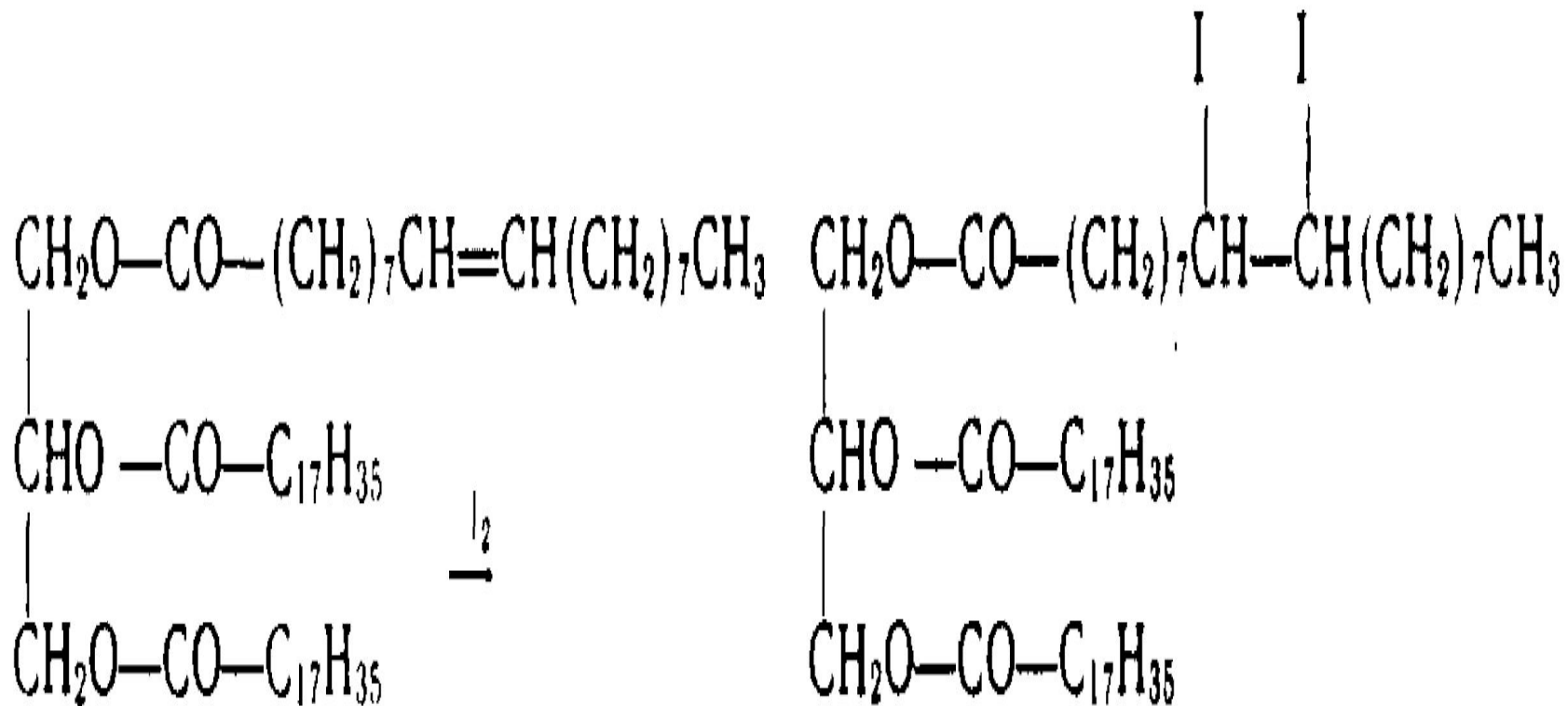


1-Олео-2-пальмито-
стеарин



Фосфатидилэтаноламин

Реакция присоединения – Липиды содержащие остатки непредельных ЖК присоединяют по двойным связям водород, галогены, галогеноводороды и в кислой среде воду.

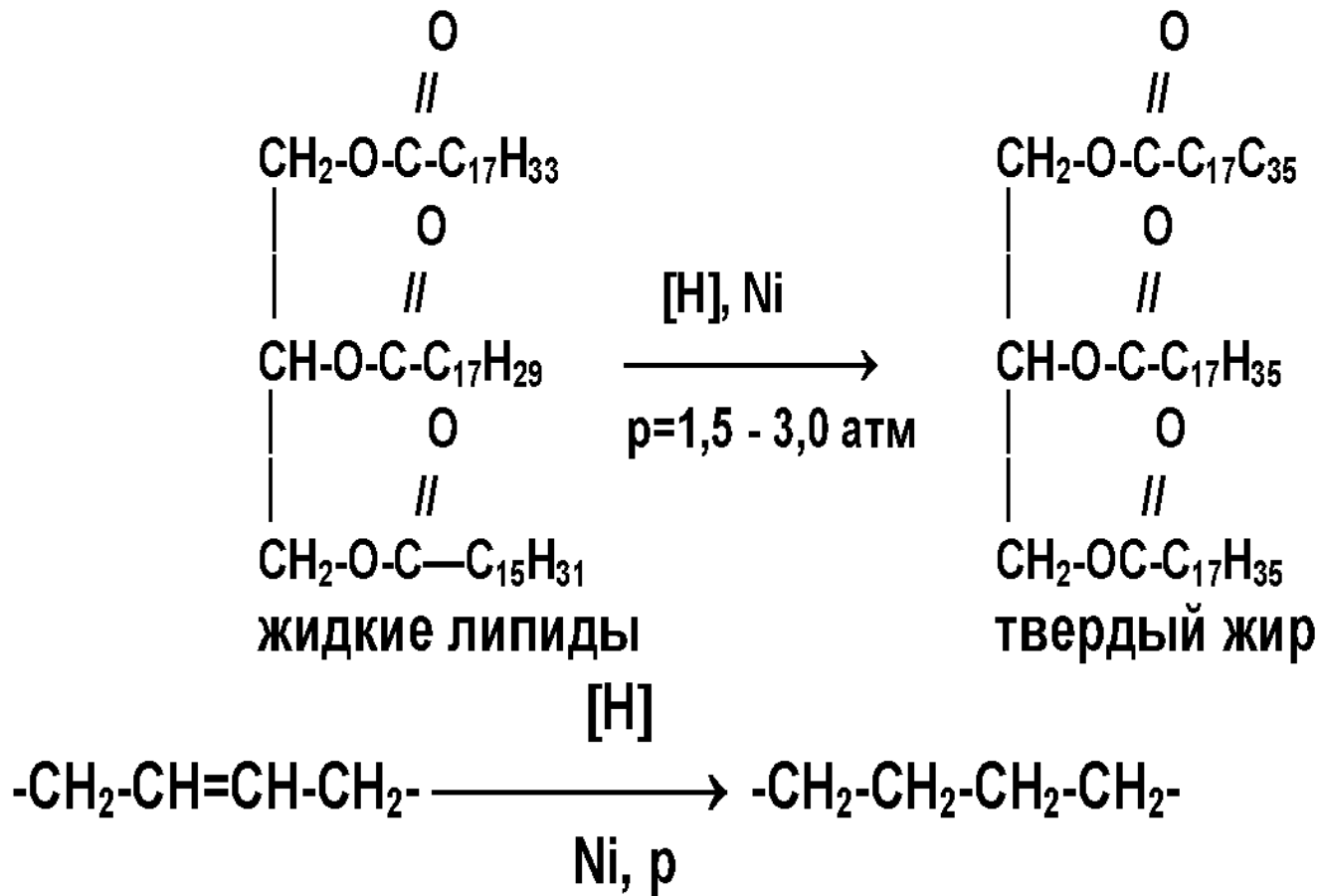


1-Олеилдистеароилглицерин

Значения йодного числа для ряда природных масел, жиров, индивидуальных жирных кислот

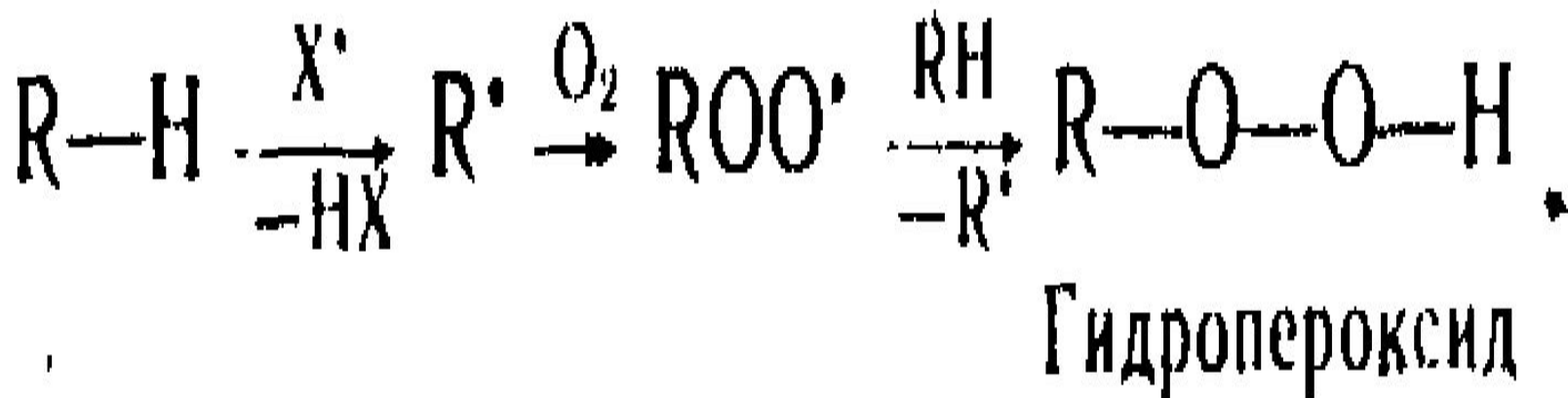
№ п/п	Наименование масла	Йодное число, % J ₂	№ п/п	Наименование масла	Йодное число, % J ₂
1	Подсолнечное	189,3 - 190,6	11	Жир печени налима	111,0
2	Хлопковое	195,2	12	Жир печени трески	171,0
3	Льняное	189,6	13	Липиды пеляди	191,0
4	Рапсовое	179,0	14	Липиды нельмы	159,0
5	Оливковое	192,0	15	Липиды муксуна	123,0
6	Соевое	190,7	16	Свиной жир (лярд)	42,0
7	Пальмоядровое	200,0	17	Молочный жир	39,0
8	Кукурузное	195,9	18	Олеиновая кислота	89,9
9	Рисовое	180,0	19	Линолевая кислота	181,1
10	Масло зародышей пшеницы	184,7	20	Линоленовая кислота	273,7

В промышленности широко применяется каталитическое гидрогенирование ненасыщенных растительных масел в результате чего последние превращаются в твердые жиры. Процесс протекает при 160 - 200°C и давлении 2 -15 атм. Искусственное масло (маргарин) представляет собой эмульсию гидрогенизованного растительного масла в молоке. Восстановление двойных связей (частичное) лежит в основе получения из растительных масел твердых жиров и маргарина, а также жировых основ фармпрепаратов. При этом, однако, часть жиров изомеризуется из цис-формы переходит в транс-форму, не имеющей биологической значимости.

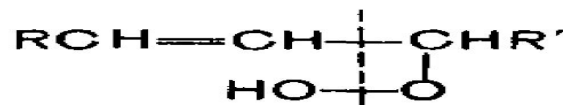
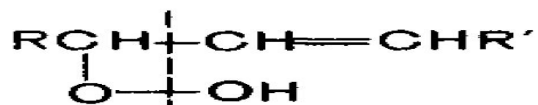
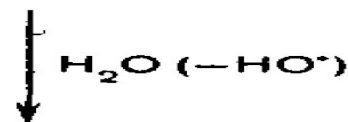
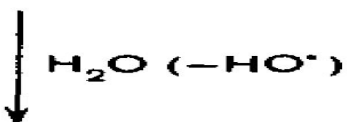
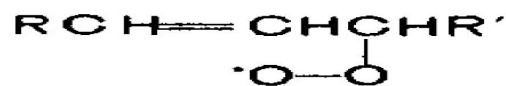
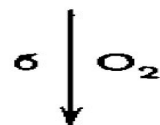
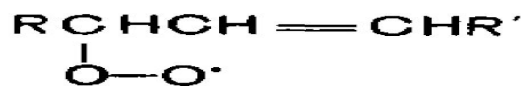
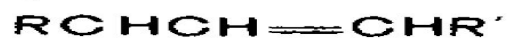
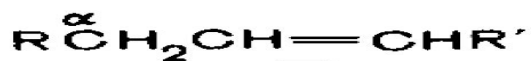


Реакции окисления

- Процессы окисления липидов весьма разнообразны. В частности, окисление кислородом воздуха ненасыщенных триацилглицеролов при хранении (автоокисление), сопровождаемое гидролизом, является частью процесса, так называемого, прогоркания масла. Первичными продуктами реакции липидов с молекулярным кислородом являются гидроперекиси, образующиеся в результате

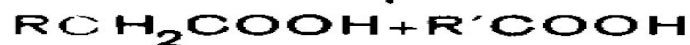
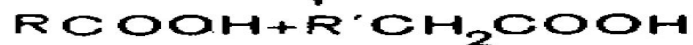
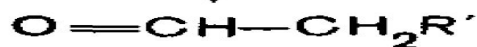
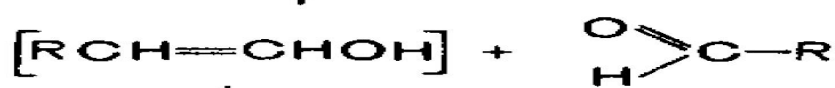


- Указанная реакция является начальной стадией процесса так называемого свободнорадикального пероксидного окисления липидов (ПОЛ). В настоящее время не вызывает сомнения, что ПОЛ представляет собой один из наиболее важных процессов в живых организмах. Именно он является основной причиной повреждения клеточных мембран при различных патологиях и экстремальных состояниях, например при лучевой болезни, гипербарической оксигенации и канцергенезе. На первой стадии развития окислительного процесса в организме происходит инициация цепной реакции свободными радикалами типа $\text{HO}\cdot$ или $\text{HO}_2\cdot$, образующимися при окислении Fe^{2+} кислородом в водной среде (Реакция Фентона).
- $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^- + \text{OH}\cdot$

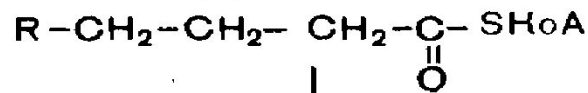
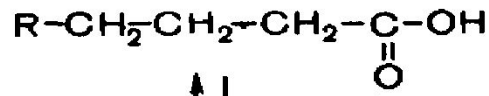


Гидропероксид

Гидропероксид

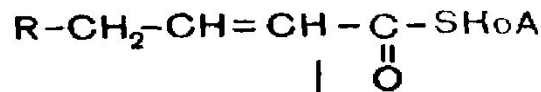


- Липиды – важный энергетический субстрат. Высвобождение энергии, заключенной в химических связях липидов с последующим ее трансформированием в энергию макроэнергетических фосфатных связей молекулы АТФ осуществляется в процессе, получившем название β -окисления ЖК, приводящему к образованию ацетил-СоА:



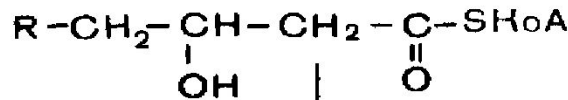
дегидрирование

-2H



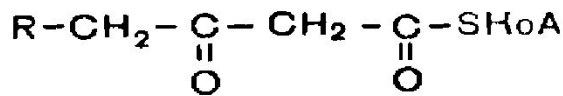
гидратация

H₂O

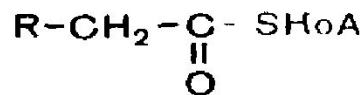


окисление

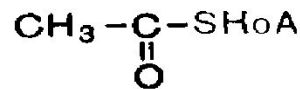
[O]



HSHoA



+

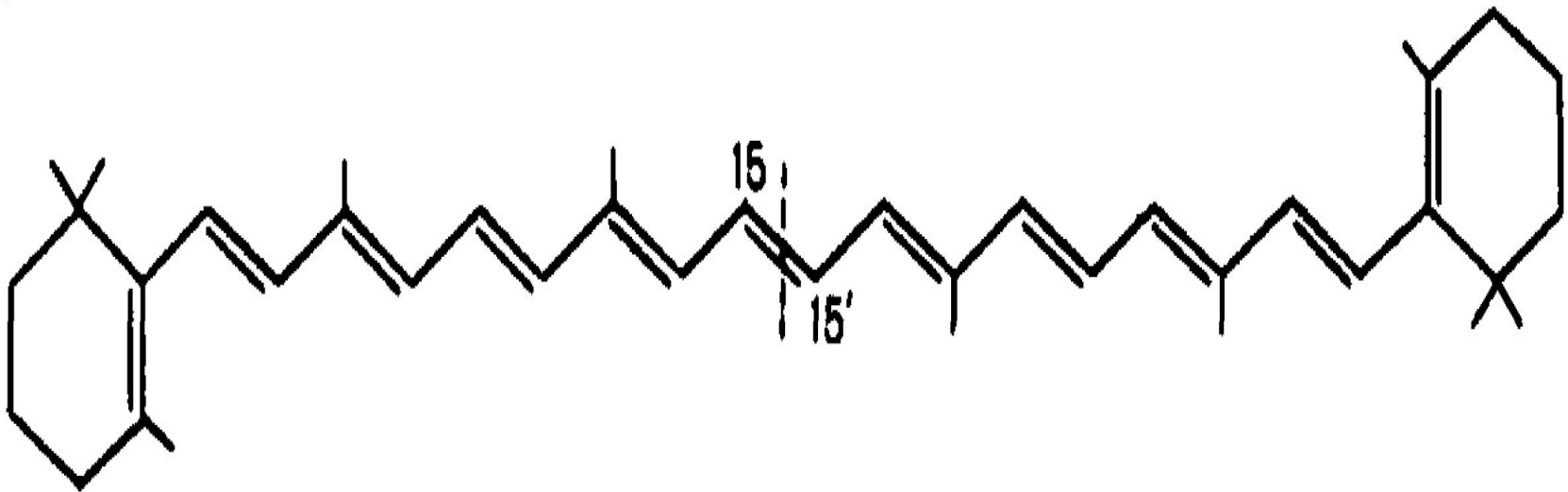


Новый цикл
β-окисления

- При атаке таким радикалом по метиленовой группе липида, соседней с двойной связью, образуется аллильный радикал, стабилизированный π -электронами двойной связи.
- Образовавшийся радикал может давать начало промежуточным пероксидам, которые будучи весьма нестабильными, легко распадаются с образованием продуктов альдегидной и кетонной природы, которые далее окисляются с образованием одно- и двухосновных карбоновых кислот – конечных продуктов реакции.

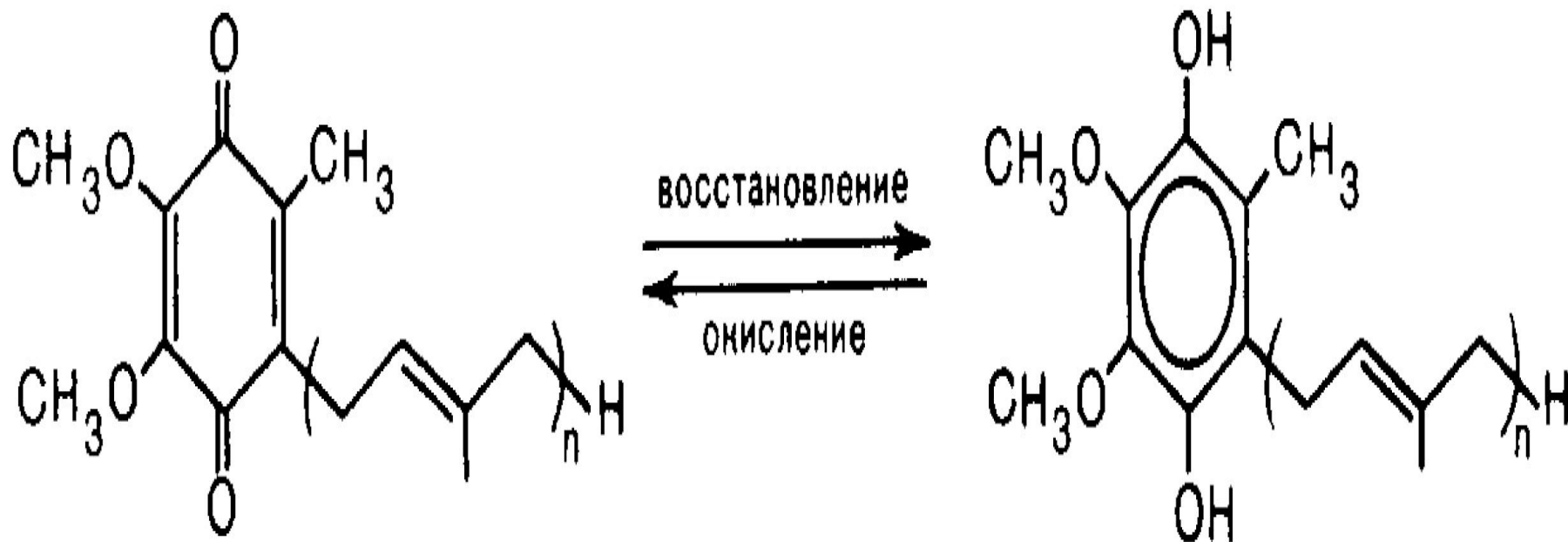
Неомыляемые липиды

- Особую группу терпенов составляют **каротиноиды** – растительные пигменты. Некоторые из них способны выполнять функции витаминов. Их молекулы содержат значительное количество двойных связей, что придает каротиноидам специфическую окраску. Типичными их представителями являются α -, β - и γ -каротины, предшественники витаминов группы А.



β -Каротин

К терпенам относятся и другие жирорастворимые витамины, такие как витамины группы Е (токоферолы), витамины группы К, а также убихиноны, способные к последовательному окислению (восстановлению) и выполняющие роль челночного переносчика восстановительных эквивалентов в элетронтранспортной цепи митохондрий:



Убихиноны (кофермент Q, $n=6-10$)

Восстановленные убихиноны