

ЛИПИДЫ

**ТАМБОВЦЕВА Р.В.
Д.б.н., профессор
РГУФКСМиТ
Москва**

ЛИПИДЫ

ЛИПИДЫ или жиры (от греч. Lipos – жир) – это класс органических соединений, не растворимых в воде (гидрофобность), но хорошо растворимых в неполярных растворителях (ацетон, бензол, хлороформ, метиловый и этиловый спирты и др.).

Молекулы жира, как и молекулы углеводов, состоят из атомов углерода, водорода и кислорода. Однако содержание кислорода по отношению к другим атомам значительно меньше, чем в углеводах. Пример: тристеарин $C_{57}H_{110}O_6$. Поэтому для окисления жиров требуется значительно большее количество кислорода, чем для окисления углеводов.

В организме человека в форме жиров запасается большое количество энергии. Если гликоген печени и скелетных мышц может обеспечить около 2000 ккал энергии, то жиры мышц и жировых тканей – около 70000 ккал. Запасы жиров в организме практически неисчерпаемы, поскольку даже при прохождении марафонской дистанции расходуется их менее 1 кг. **Жиры служат энергетическим субстратом преимущественно при аэробной физической работе на выносливость.** Использование их при мышечной деятельности поддерживает высокую работоспособность и отдаляет утомление организма.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЖИРОВ

1. **Энергетическая.** При распаде 1 г жира освобождается 39 кДж (9,3 ккал) энергии, что значительно больше, чем при окислении углеводов. В форме гликогена организм может запастись энергией для обеспечения основного обмена не более чем на сутки, тогда как в форме триглицеридов – на несколько месяцев.
2. **Структурная.** Липиды в комплексе с белками являются структурным компонентом всех клеточных мембран. В связи с этим они участвуют в транспорте веществ через мембраны, рецепции и в других мембранных процессах.
3. **Регуляторная или гормональная.** Регуляторную функцию выполняют гормоны стероидной природы, а также тканевые гормоны простогландины, образующиеся из полиненасыщенных высших жирных кислот.
4. **Терморегуляторная.** Жиры, входящие в состав подкожной клетчатки, предохраняют организм от переохлаждения, поскольку являются плохим проводником тепла.
5. **Защитная.** Липиды в виде жировых прослоек защищают внутренние органы от механических повреждений, а также нервные окончания и кровеносные сосуды от сдавления и ушибов. Жир придает эластичность кожным покровам, а насыщенные жирные кислоты – бактерицидные свойства.
6. **В качестве растворителя.** В жирах растворяются многие органические соединения, в том числе витамины А, D, Е, К. Благодаря чему они легко проникают через стенки сосудов, мембраны клеток, транспортируются в биологических жидкостях.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИПИДОВ

- I. ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ.**
- II. ГЛИЦЕРИНСОДЕРЖАЩИЕ ЛИПИДЫ.**
 - 1. Нейтральные жиры:*
 - а) моно-, ди- и триглицериды;
 - б) простые эфиры глицерина;
 - в) гликозилглицериды.
 - 2. Фосфоглицериды:*
 - а) фосфатиды;
 - б) дифосфатидилглицериды и фосфоинозитиды.
- III. ЛИПИДЫ, НЕ СОДЕРЖАЩИЕ ГЛИЦЕРИН.**
 - 1. Сфинголипиды:*
 - а) церамиды;
 - б) сфиногмиэлины;
 - в) гликосфинголипиды.
 - 2. Алифатические спирты и воска.*
 - 3. Терпены.*
 - 4. Стероиды.*
- IV. ЛИПИДЫ, СВЯЗАННЫЕ С ВЕЩЕСТВАМИ ДРУГИХ КЛАССОВ.**
 - 1. Липопротеины.*
 - 2. Протеолипиды*
 - 3. Фосфатидопептиды.*
 - 4. Липоаминокислоты.*
 - 5. Липополисахариды.*

РЕЗЕРВНЫЕ ЛИПИДЫ – откладываются в жировой ткани: подкожной жировой клетчатке, сальнике, капсуле почек, а также вокруг других органов.

Жировая ткань выполняет функцию депо: она способна поглощать липиды из крови и высвобождать их, обеспечивая энергетические потребности организма.

Липидосодержащие клетки жировой ткани имеют сферическую форму. Большую часть таких клеток заполняет сферическая липидная капля.

Количество **резервных липидов** может изменяться в широких пределах: в зависимости от режима питания, характера деятельности, функции щитовидной железы. Норма – 10-15%, Ожирение – 30%. Концентрация в нервной ткани – 25%, а клеточных и субклеточных мембранах – 40%.

Структурные протоплазматические липиды участвуют в построении мембран.

Содержание их устойчиво. Оно не меняется ни при различных рационах питания, ни при голодании и даже при полном истощении организма.

Транспортируются липиды в форме липопротеидов.

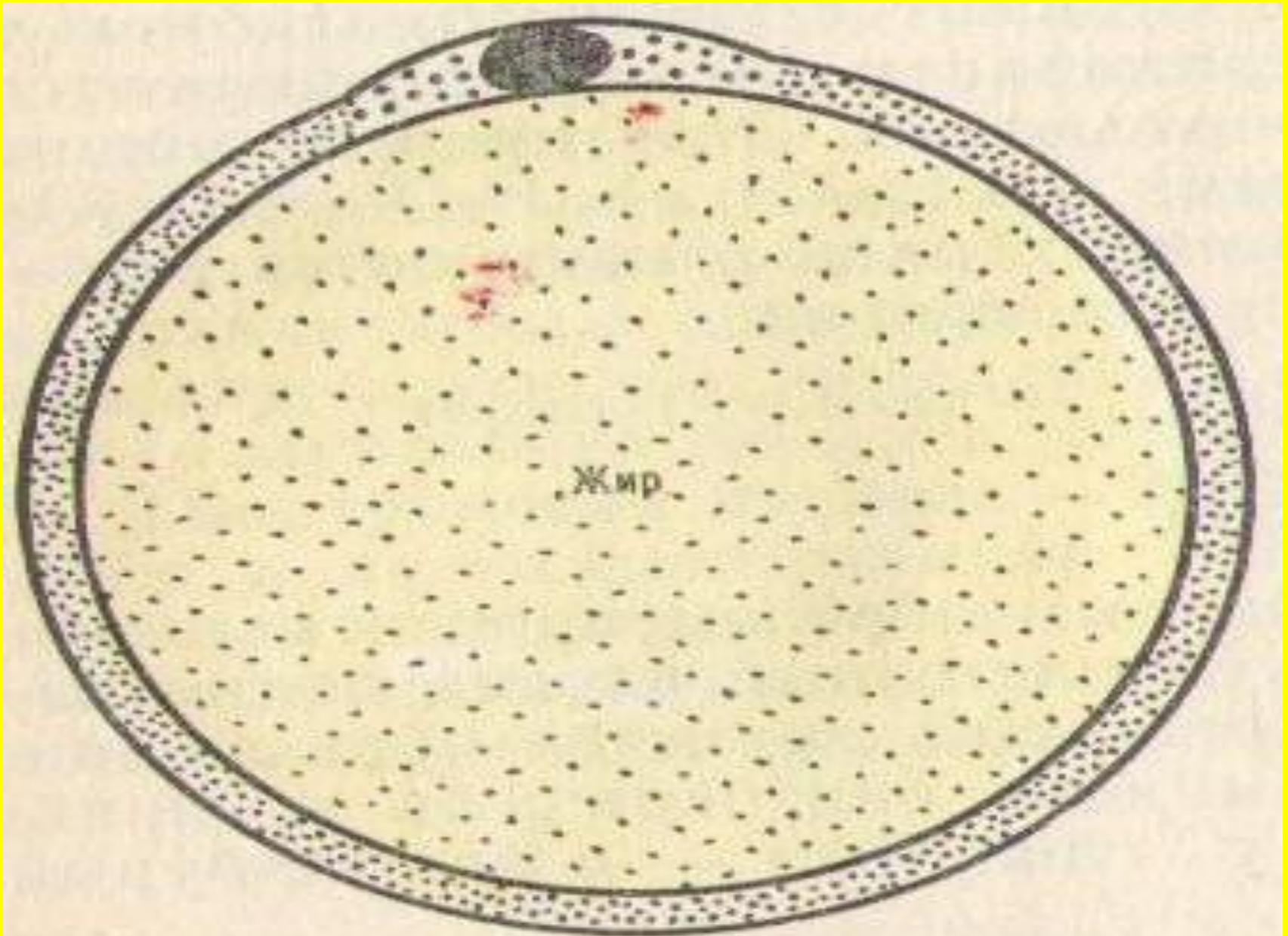
КЛАССЫ ЛИПОПРОТЕИДОВ:

1. ЛПОНП – липопротеиды очень низкой плотности – главная транспортная форма для эндогенных триглицеридов.
2. ЛПНП – липопротеиды низкой плотности – для холестерина
3. ЛПВП – липопротеиды высокой плотности – для холестерина
4. ЛПОВП – липопротеиды очень высокой плотности
5. ХМ – хиломикроны (самые крупные 5000 А) – главная транспортная форма для экзогенных триглицеридов.

Липиды, гидролизующиеся с образованием мыла (солей жирных кислот) называются омыляемые (нейтральные жиры, фосфолипиды, сфинголипиды, гликолипиды, воска).

Липиды, неспособные к гидролизу с освобождением жирных кислот называются неомыляемые (стероиды).

СХЕМАТИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЖИРОВОЙ КЛЕТКИ
(по Дж.Финеану, 1977)



КЛАССЫ ЛИПИДОВ

В зависимости от строения липиды делят на простые (двухкомпонентные) и сложные (многокомпонентные)

К группе простых липидов относят жиры, воски (характерны для растений) и стериды.

К группе сложных липидов относят фосфолипиды, гликолипиды, диольные липиды, орнитолипиды (характерны для микроорганизмов)

1. НЕЙТРАЛЬНЫЕ ЖИРЫ

2. ФОСФОЛИПИДЫ

3. ГЛИКОЛИПИДЫ

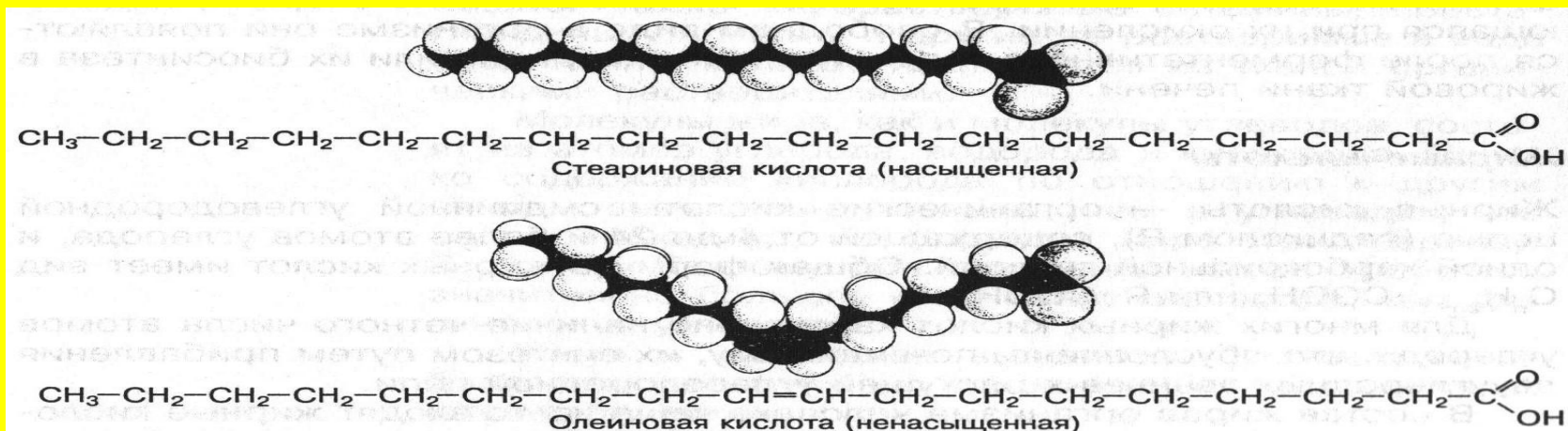
4. СТЕРОИДЫ

ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ

- **ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ** – это органические кислоты с длинной углеводородной цепью (радикалом R), содержащей от 4 до 24 и более атомов углерода и одной карбоксильной группой.
- Общая формула: $C_nH_{2n+1} - COOH$ или $R - COOH$
- В состав жиров организма человека чаще всего входят жирные кислоты с 16 и 18 атомами углерода – называются **ВЫСШИМИ ЖИРНЫМИ КИСЛОТАМИ**.
- Высшие жирные кислоты делятся на **НАСЫЩЕННЫЕ** и **НЕНАСЫЩЕННЫЕ**.
- В насыщенных жирных кислотах все свободные связи углеродных атомов заполнены водородом. Такие жирные кислоты не имеют двойных или тройных связей в углеродной цепи.
- Ненасыщенные жирные кислоты имеют в углеродной цепи двойные связи.
- Жирные кислоты, содержащие две и более двойных связей наз. полиненасыщенными.

Пример: насыщенная жирная кислота – стеариновая кислота, ненасыщенная – олеиновая.

Из насыщенных высших жирных кислот у человека чаще встречаются: пальмитиновая (C16), стеариновая (C18), а из ненасыщенных: олеиновая (C18), линолевая (C18), линоленовая (C18), арахидоновая (C20).



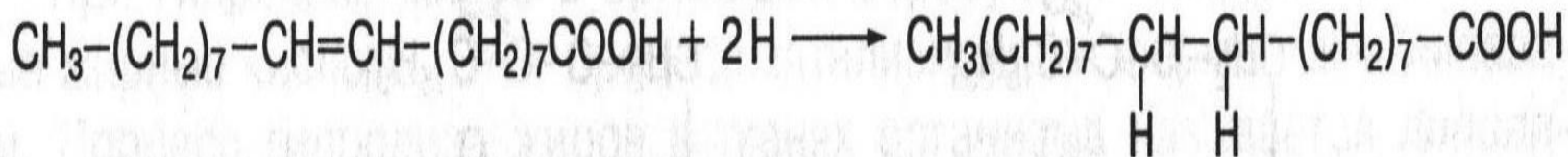
ВЫСШИЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ

Формула кислоты	Название кислоты	Число атомов углерода и в молекуле
<i>Насыщенные кислоты</i>		
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_8-\text{COOH}$	Каприновая	10
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{10}-\text{COOH}$	Лауриновая	12
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{12}-\text{COOH}$	Миристино- вая	14
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$	Пальмитино- вая	16
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$	Стеариновая	18
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{18}-\text{COOH}$	Арахидиновая	20
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{20}-\text{COOH}$	Бегеновая	22
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{22}-\text{COOH}$	Лигноцери- новая	24
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{24}-\text{COOH}$	Церотиновая	26
<i>Ненасыщенные кислоты</i>		
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	Пальмито- олеиновая	16
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	Олеиновая	18
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_{11}-\text{COOH}$	Эруковая	22
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_{13}-\text{COOH}$	Нервоновая	24
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH})_2-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	Линолевая	18
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH})_3-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	Линоленовая	18

С увеличением числа углеродных атомов в молекуле жирных кислот температура их плавления увеличивается.

Жирные кислоты могут быть твердыми (стеариновая), жидкими (линолевая, арахидоновая). Они не растворимы в воде и плохо растворимы в спирте.

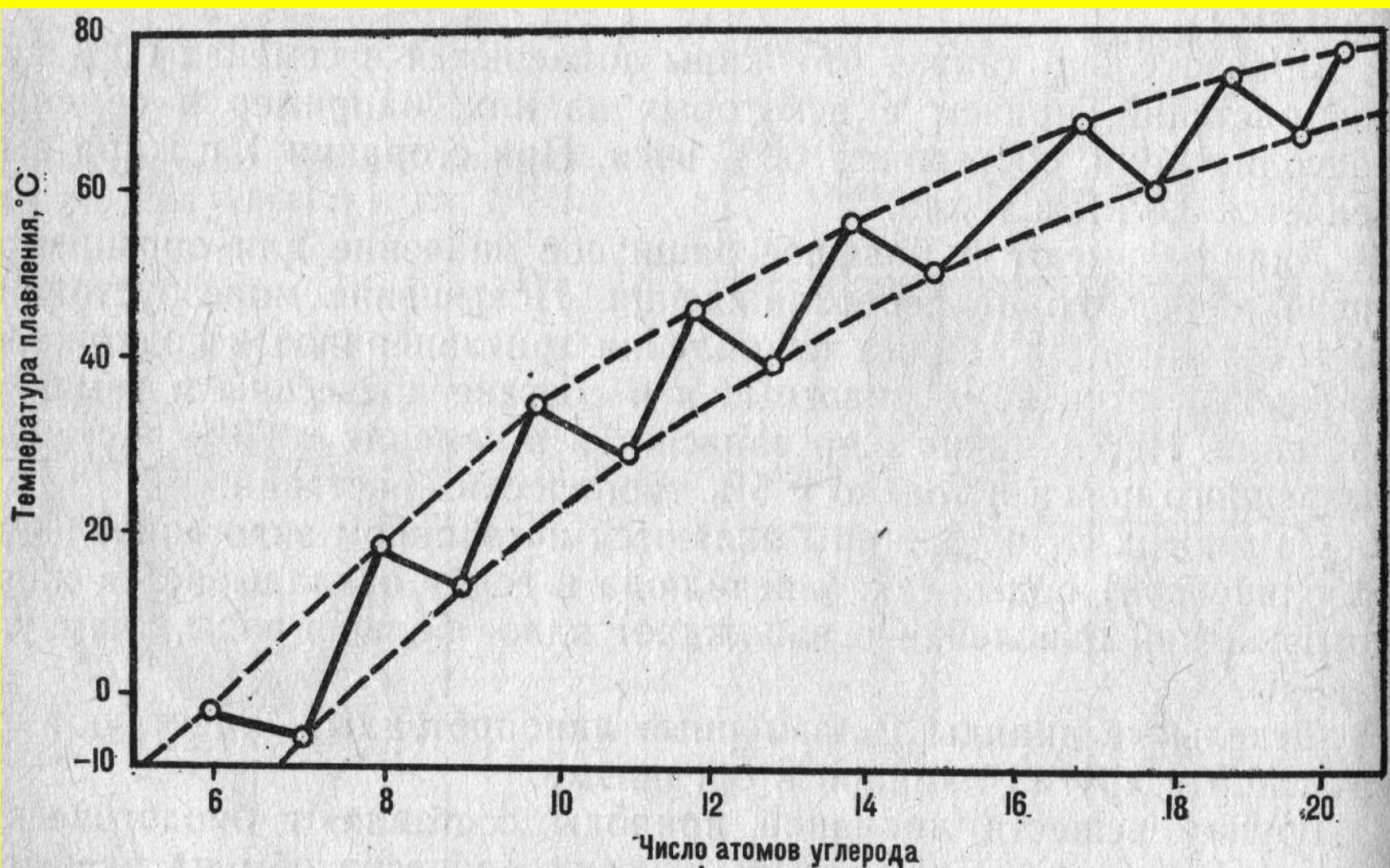
Ненасыщенные жирные кислоты более реакционноспособны, чем насыщенные. Они легко присоединяют два атома водорода или галогенов (йод, хлор) по месту двойных связей, превращаясь в насыщенные



Этот процесс называется **гидрогенизацией**. Вещества, подвергнутые гидрогенизации, изменяют свои свойства. Растительные масла превращаются в твердый жир. Реакция гидрогенизации широко используются для получения твердого пищевого жира – маргарина из жидких растительных масел.

ОСОБОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА имеют полиненасыщенные жирные кислоты. В организме они не синтезируются. При не поступлении их с пищей нарушается обмен жиров, в частности холестерина, наблюдаются патологические изменения в печени, коже, функции тромбоцитов. Ненасыщенные жирные кислоты – **ЛИНОЛЕНОВАЯ** и **ЛИНОЛЕВАЯ** – незаменимые факторы питания. Они способствуют выходу из печени жиров, которые синтезируются в ней и предупреждают ее ожирение. Такое действие ненасыщенных жирных кислот называется **ЛИПОТРОПНЫМ ЭФФЕКТОМ**. Ненасыщенные жирные кислоты служат предшественниками синтеза биологически активных веществ – простагландинов. Суточная потребность человека в полиненасыщенных кислотах в норме составляет 15 г.

Зависимость температуры плавления насыщенных жирных кислот от числа атомов углерода в молекуле
(Н.А.Преображенский, 1976)

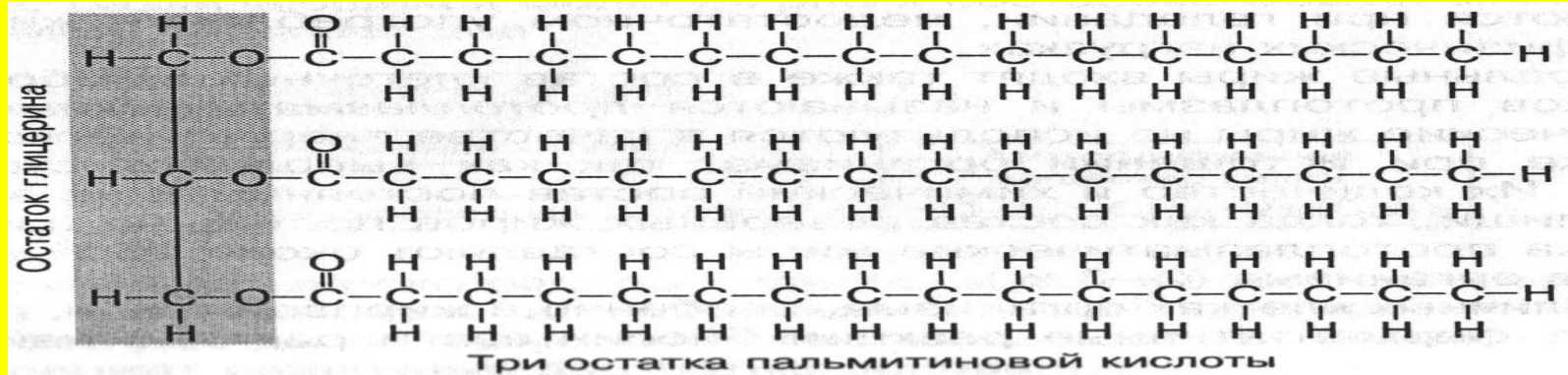


СОСТАВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ И ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПИЩЕВЫХ ЖИРОВ

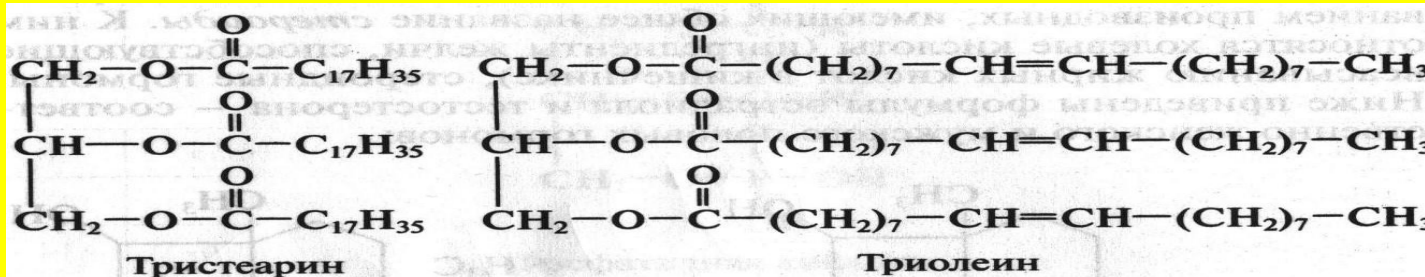
Жиры	Температура плавления, °С	Насыщенные кислоты, %	Ненасыщенные жирные кислоты, %				
			18:1	18:2	18:3	20:4	20:5
Молочный*	+(28-33)	52-70	27-40	3-5	<1	сл.	-
Свиной	+(36-46)	37-45	37-50	8-10	1	сл.	-
Говяжий	+(44-51)	53-60	42-43	3-5	<1	-	-
Бараний	+(46-55)	55-65	36-43	3	0	-	-
Рыбий	-(2-7)	16-20	20-22	2	3	3	6-8
Масла							
Подсолнечное	-(16-19)	10-12	21-34	51-68	2	-	-
Оливковое	(0-6)	10-19	64-85	4-14	<1	-	-
Кукурузное	-(10-20)	10-14	38-40	43-47	<3	-	-

НЕЙТРАЛЬНЫЕ ЖИРЫ

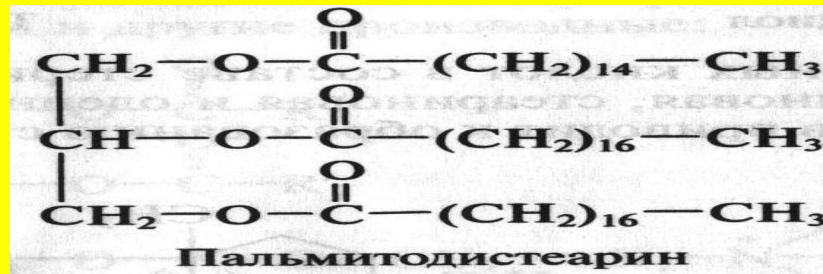
К нейтральным жирам относится группа липидов, состоящих из трехатомного спирта – **ГЛИЦЕРИНА** и трех остатков жирных кислот, поэтому они называются **ТРИГЛИЦЕРИДАМИ**.
Различают простые и смешанные триглицериды.



ПРОСТЫЕ ТРИГЛИЦЕРИДЫ – в состав простых жиров входят радикалы одной и той же кислоты



СМЕШАННЫЕ ТРИГЛИЦЕРИДЫ построены из остатка глицерина и разных кислот.



ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИРОВ

Физико-химические свойства жиров во многом определяются составом жирных кислот.

Жиры, содержащие преимущественно насыщенные жирные кислоты, при комнатной температуре твердые, а ненасыщенные жирные кислоты – жидкие.

Твердые жиры – это жиры животного происхождения, за исключением рыбьего жира.

Жидкие жиры – это растительные масла, за исключением кокосового и пальмового масел.

В организме животных и растений ненасыщенных жирных кислот в 2 раза больше, чем насыщенных.

Нейтральные жиры накапливаются в жировых клетках (адипоцитах), под кожей, в молочных железах, жировых капсулах вокруг внутренних органов брюшной полости; незначительное их количество находится в скелетных мышцах.

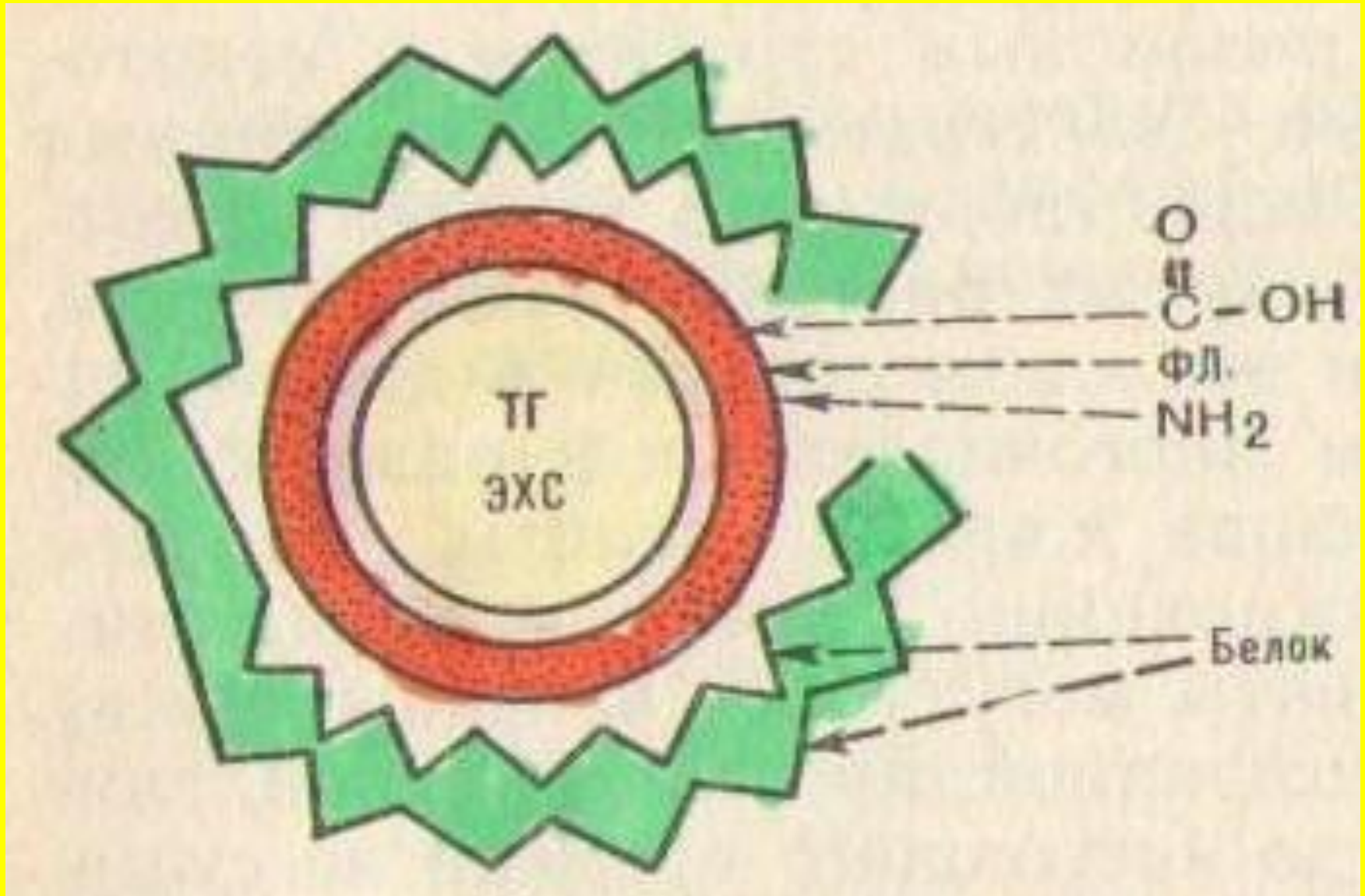
ДЕПОНИРОВАНИЕ – образование и накопление нейтральных жиров в жировых тканях.

Триглицериды составляют основу РЕЗЕРВНЫХ ЖИРОВ, которые являются энергетическим запасом организма и используются при голодании, недостаточном употреблении жиров, длительных физических нагрузках.

Нейтральные жиры, входящие в состав клеточных мембран, сложных белков протоплазмы называют **ПРОТОПЛАЗМАТИЧЕСКИМИ**. Протоплазматические жиры не используются в качестве энергетического источника даже при истощении организма, так как выполняют структурную функцию. Их количество и химический состав постоянны и не зависят от состава пищи, тогда как состав резервных жиров постоянно изменяется. У человека протоплазматические жиры составляют 25 всей массы жира в организме (2-3 кг).

СХЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИПОПРОТЕИНОВОЙ ЧАСТИЦЫ
(по А.Н.Климову, 1974)

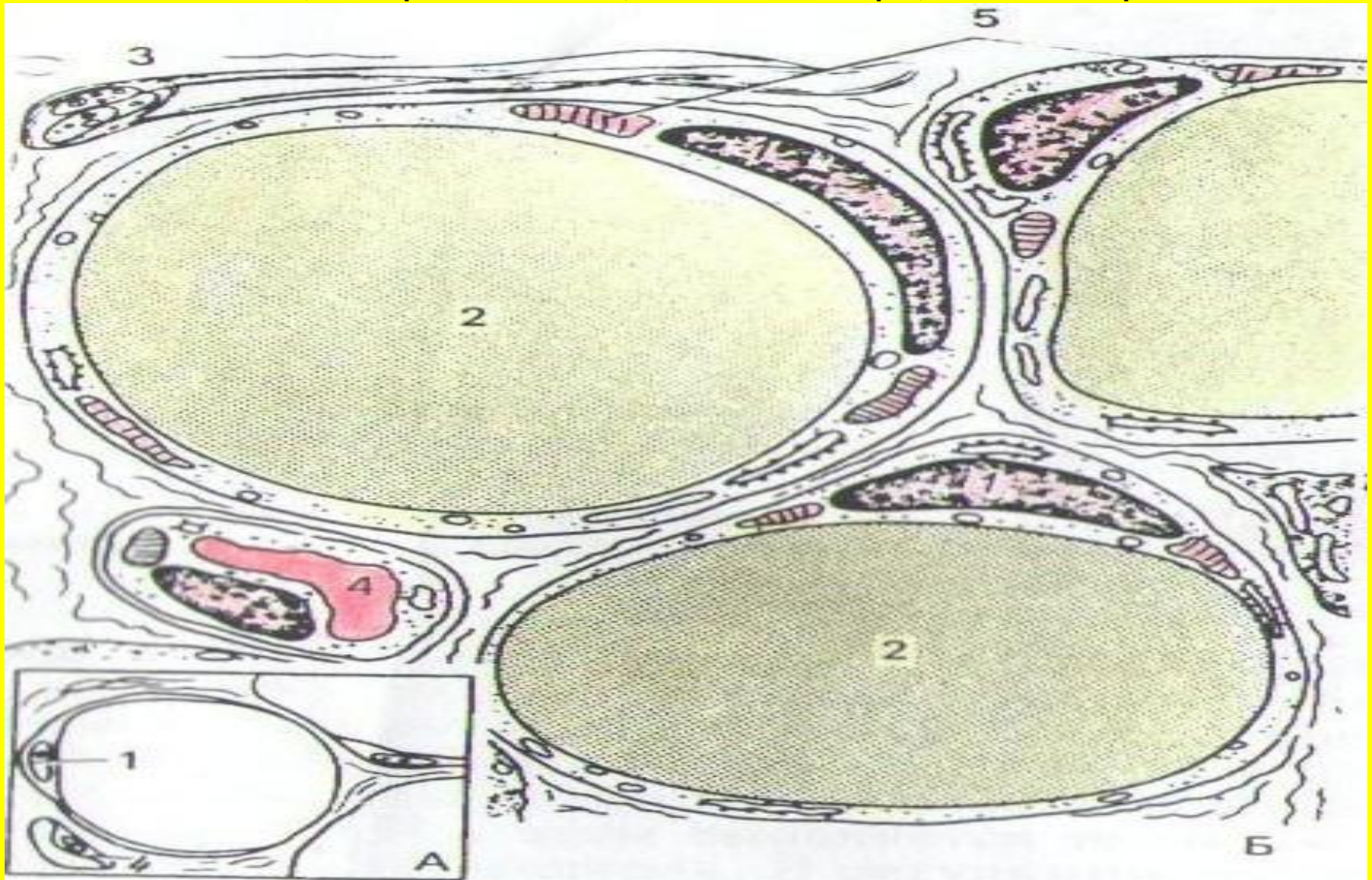
ТГ – триглицериды, ЭХС – эфиры холестерина, ФЛ - фосфолипиды



СТРОЕНИЕ БЕЛОЙ ЖИРОВОЙ ТКАНИ

По Ю.И.Афанасьеву

Ультрамикроскопическое строение адипоцитов: 1 – ядро жировой клетки; 2 – крупные капли липидов; 3 – нервные волокна; 4 – гемокапилляры; 5 – митохондрии.

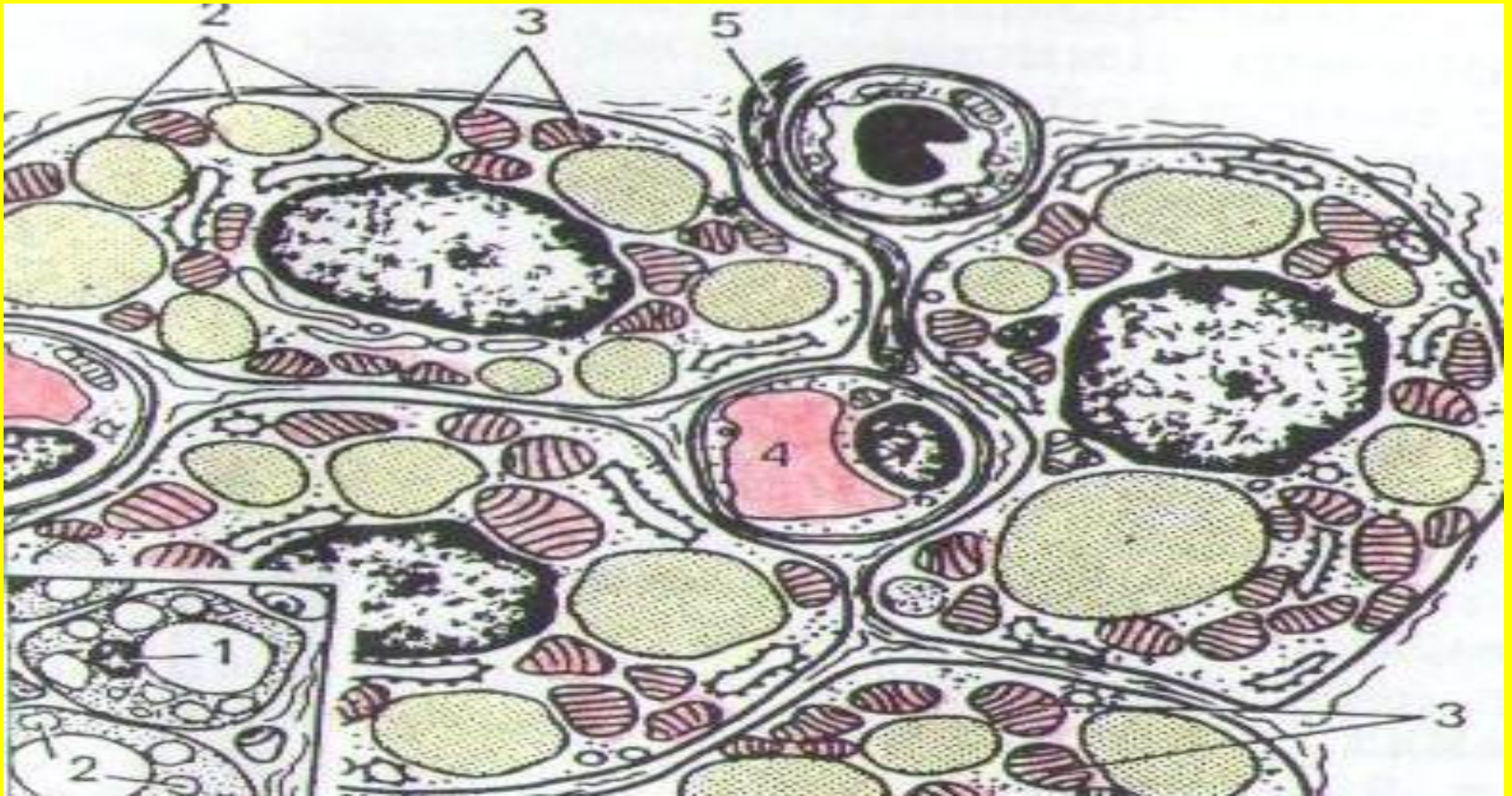


Строение бурой жировой ткани по Ю.И.Афанасьеву

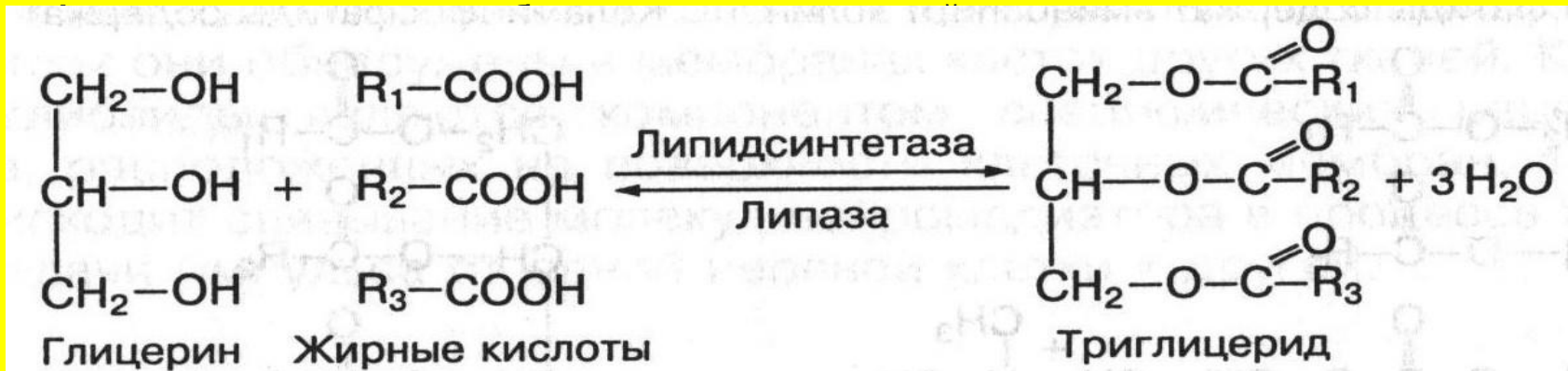
1 – ядро адипоцита; 2 – мелко раздробленные липиды; 3 – многочисленные митохондрии; 4 – гемокапилляры; 5 – нервное волокно.

Характеристика бурой жировой ткани:

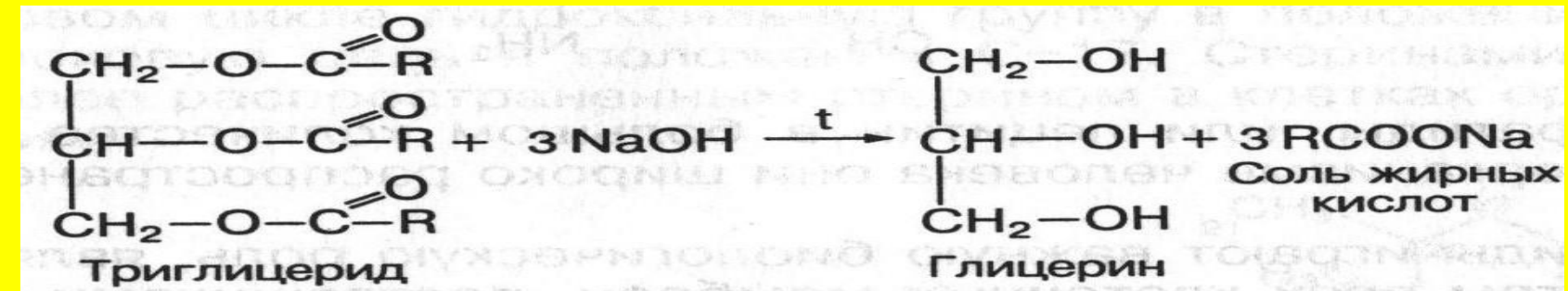
1. Много митохондрий
2. Бурый цвет жировым клеткам придают железосодержащие пигменты – цитохромы митохондрий
3. Окислительная способность бурых жировых клеток в 20 раз выше белых и в 2 раза превышает окислительную способность мышцы сердца.



- В различных клетках организма, особенно в жировой ткани, постоянно протекают



- При гидролизе жиров в организме образуются глицерин и свободные жирные кислоты. Этот процесс катализируется ферментами липазами.
- Процесс гидролиза жиров в тканях называется ЛИПОЛИЗОМ.
- Скорость липолиза значительно увеличивается при физических нагрузках на выносливость, а активность липаз повышается в процессе тренировки
- Если реакцию распада жира проводить в присутствии щелочей (NaOH, KOH), то образуются натриевые или калиевые соли жирных кислот, которые называются мылами, а сама реакция – омылением:



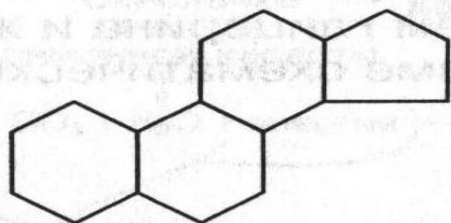
- Эта химическая реакция лежит в основе производства мыла из различных жиров и их смесей.

СТЕРОИДЫ

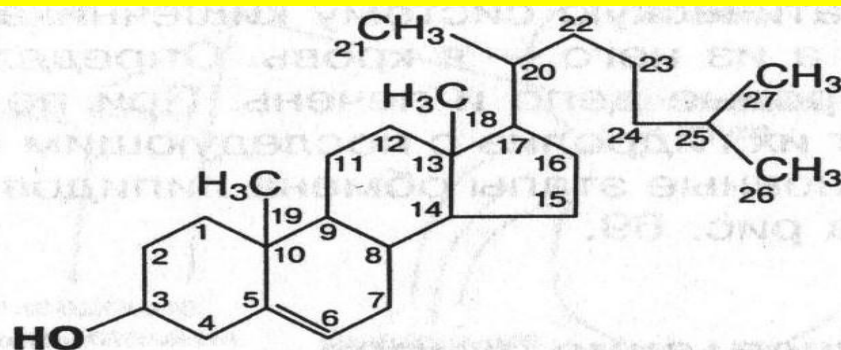
СТЕРОИДЫ – это жироподобные вещества, в состав которых входит сложный цикл стерана (циклопентантанпергидрофенантрен).

Важными природными стероидами являются желчные кислоты, мужские и женские половые гормоны, гормоны надпочечников, некоторые яды. Стероиды в клетках присутствуют в малых количествах. Стероиды в организме представлены стеринами и стеридами.

СТЕРИНЫ – это высокомолекулярные циклические спирты, содержащие в стерановом цикле гидроксильную группу в положении С-3 и углеводородную боковую цепь в положении С-17. Наиболее распространенным стерином в клетках организма является холестерин:



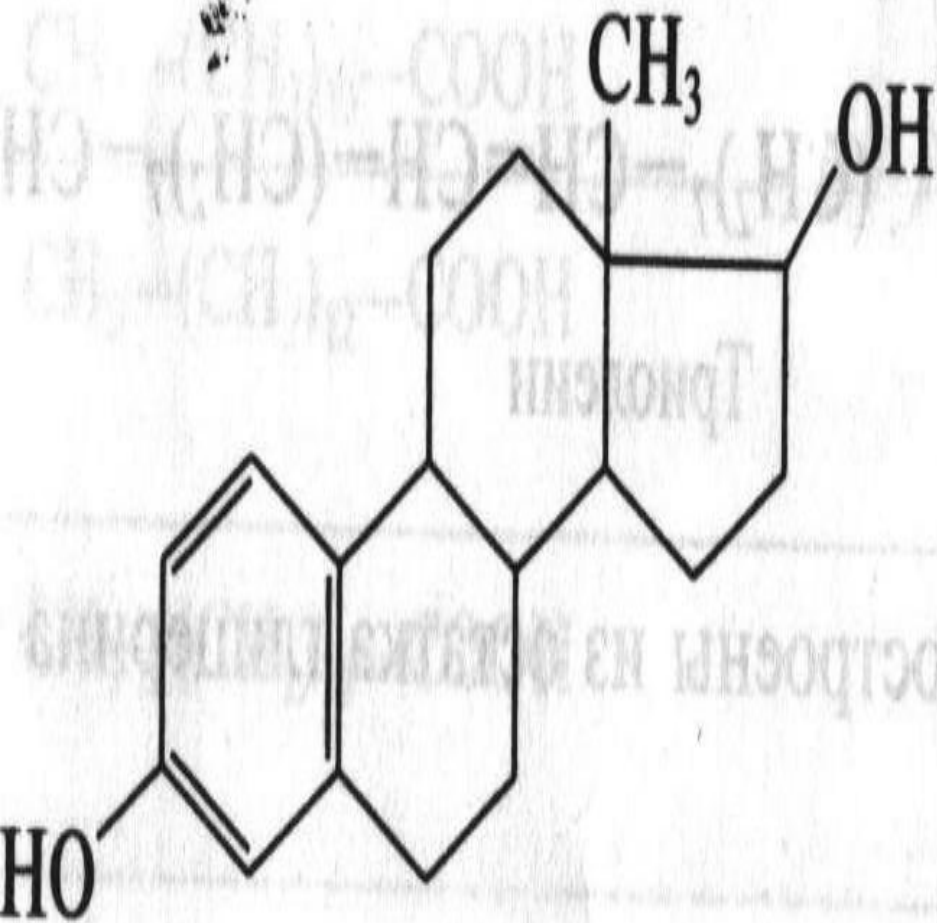
Структурная основа стероидов



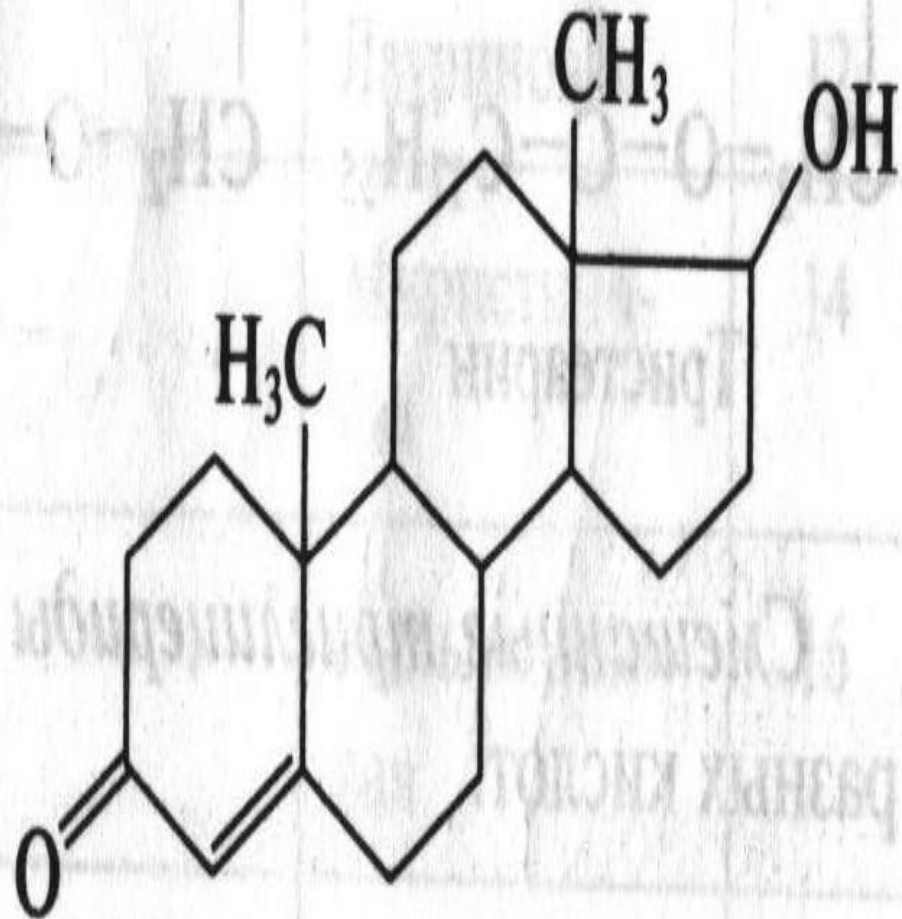
Формула холестерина

Впервые холестерин был выделен из желчных камней (от греч.hole – желчь) в XVII в. Это кристаллическое вещество, не растворимое в воде. В организме выполняет важную роль, являясь предшественником синтеза желчных кислот, стероидных гормонов, витамина D3. Под действием холестерина повышается устойчивость эритроцитов к гемолизу, активируется цикл лимонной кислоты. В мозге холестерин играет роль изолятора, предохраняющего структуры мозга от электрических зарядов при прохождении нервных импульсов.

Формулы женского и мужского половых гормонов



Эстрадиол



Тестостерон

СТЕРИДЫ – это сложные эфиры высших жирных кислот и полициклических спиртов (стеролов). В организме человека 10% стеролов находится в виде стеридов. 90% находится в свободном состоянии и образует неомыляемую (негидролизующуюся) фракцию. Из жирных кислот в состав стеридов входят в основном пальмитиновая, стеариновая, олеиновая кислоты. Однако в стериде ланолина (восковидное вещество кожи и шерсти животных) обнаружены миристиновая, арахидоновая, церотиновая кислоты, а также другие сложные жирные кислоты с разветвленной цепью.

Все стериды – твердые бесцветные вещества (от лат. Steros – твердый). В организме животных обычно встречаются в виде комплексов с белками.

Этерификация стеролов (полициклических спиртов) приводит к образованию стеридов:



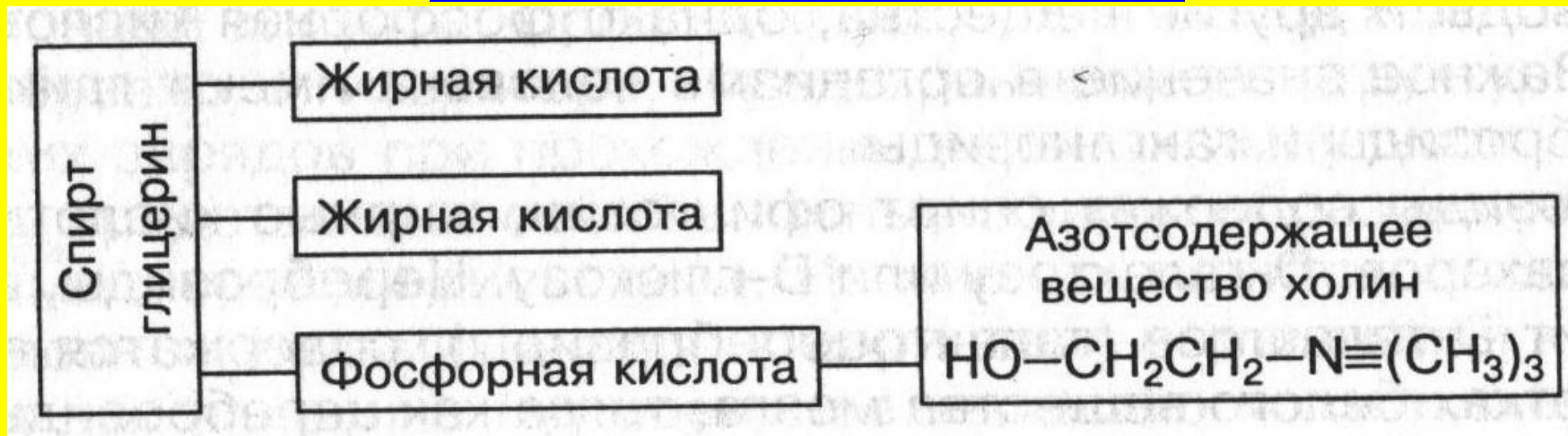
- **СТЕРОИДНЫЕ ГОРМОНЫ** – образуются из холестерина. Обнаруживаются у высших животных, насекомых, растений. В растениях найдены половые гормоны – эстрогены и прогестерон и выделены продукты их обмена, подобные тем, которые содержатся в моче человека. Являются регуляторами роста и размножения клеток растений.
- **СТЕРОИДНЫЕ ВИТАМИНЫ** - витамин D (кальциферол). Растительные предшественники кальциферолов и 7-дегидрохолестерин, содержащийся в коже животных и человека, называются провитаминами D. При облучении ультрафиолетовым светом они превращаются в витамины D.
- **СТЕРОИДНЫЕ ГЛИКОЗИДЫ** – образуются как продукт вторичного синтеза в растения – сердечные гликозиды. Широко применяются в практике как эффективные сердечные лекарственные препараты.
- **СТЕРОИДНЫЕ АЛКАЛОИДЫ** – встречаются у растений семейства нутровых и самшитовых. Они являются производными прегнана. Используют как лекарственные средства. У животных стероидные алкалоиды встречаются в выделениях кожных желез саламандры. Они повышают кровяное давление, действуя на ЦНС, вызывая паралич дыхания. В коже колумбийской ядовитой лягушки обнаружен стероидный алкалоид батрахотоксин, который парализует сердечную деятельность.
- **ЖИРОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ И ВИТАМИНОПОДОБНЫЕ ВЕЩЕСТВА:** А (ретинол), D (кальциферолы), Е (токоферолы), К (нафтохиноны), убихинон (кофермент Q) и витамин F (незаменимые ненасыщенные жирные кислоты).

СЛОЖНЫЕ ЛИПИДЫ

ФОСФОЛИПИДЫ

Фосфолипиды – это жироподобные вещества, состоящие из спирта (чаще глицерина), двух остатков жирных кислот, остатка фосфорной кислоты и азотсодержащего вещества (спирта – холина, аминокислоты – серина и др.). В настоящее время выделяют около 25 различных подклассов фосфолипидов, различающихся молекулярным составом.

ОБЩАЯ СХЕМА СОСТАВА ФОСФОЛИПИДОВ:

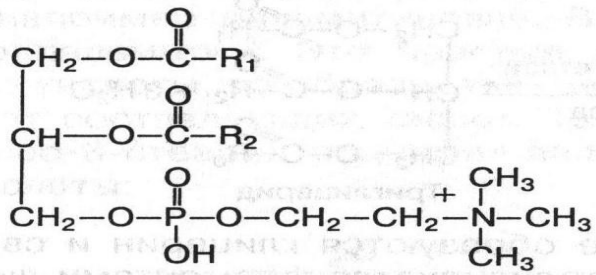


Один из основных промежуточных продуктов в биосинтезе фосфолипидов – **ФОСФАТИДНАЯ КИСЛОТА** (R1, R2 – жирные кислоты)

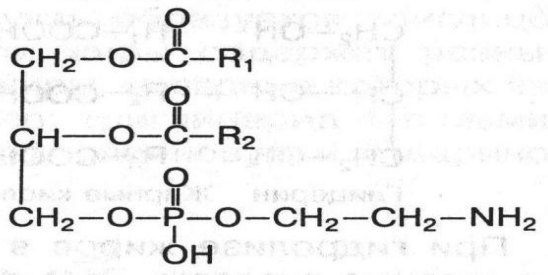


Фосфолипиды широко распространены в различных тканях организма. Важное значение имеют холинфосфатиды, коламинфосфатиды, серинфосфатиды, которые являются производными фосфатидной кислоты и содержат различные азотистые основания.

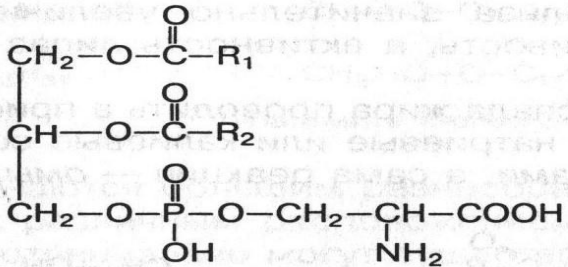
Холинфосфатиды содержат аминоспирт холин



Коламинфосфатиды содержат коламин

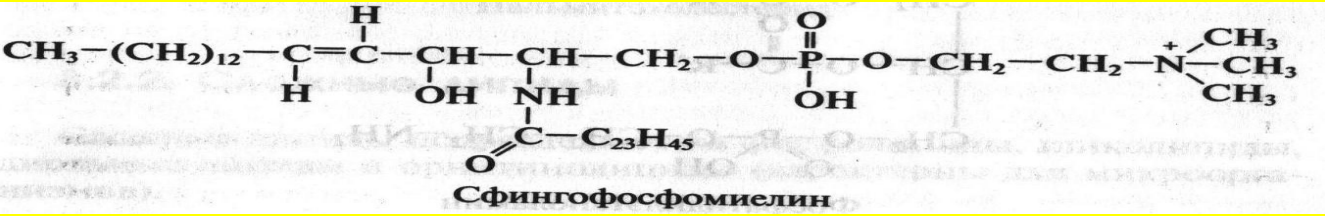


Серинфосфатиды содержат серин



СФИНГОФОСФОЛИПИДЫ

В составе сфингофосфолипидов вместо спирта глицерина входит ненасыщенный аминоспирт сфингозин. Большое количество сфинголипидов содержится в нервной ткани и крови человека. В плазме крови содержится 8-15% сфинголипидов, а в мембранах эритроцитов – 30-40% (от общего содержания липидов). В сфинголипидах в больших количествах обнаружены лигноцереновая и нервоновая кислоты, которые в меньшей степени встречаются в других классах липидов. Пример сфингофосфолипида, в состав которого входит сфингозин, нервоновая кислота, фосфорная кислота и холин:



БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ФОСФОЛИПИДОВ

- 1. Фосфолипиды являются структурным компонентом всех биологических мембран.**
- 2. Фосфолипиды являются поставщиком холина, необходимого для образования нейротрансмиттера – ацетилхолина.**
- 3. Фосфолипиды широко распространены в нервной ткани, участвуют в построении миелиновых оболочек.**
- 4. Фосфолипиды содержатся во многих субклеточных частицах мембраны животной клетки.**
- 5. Фосфолипиды разделяют внутреннее пространство клетки на клеточные органеллы – «цистерны», отсеки.**
- 6. От фосфолипидов зависят следующие свойства мембран: проницаемость, рецепторная функция, каталитическая активность мембраносвязанных ферментов, барьерная функция, транспортная функция.**

ГЛИКОЛИПИДЫ

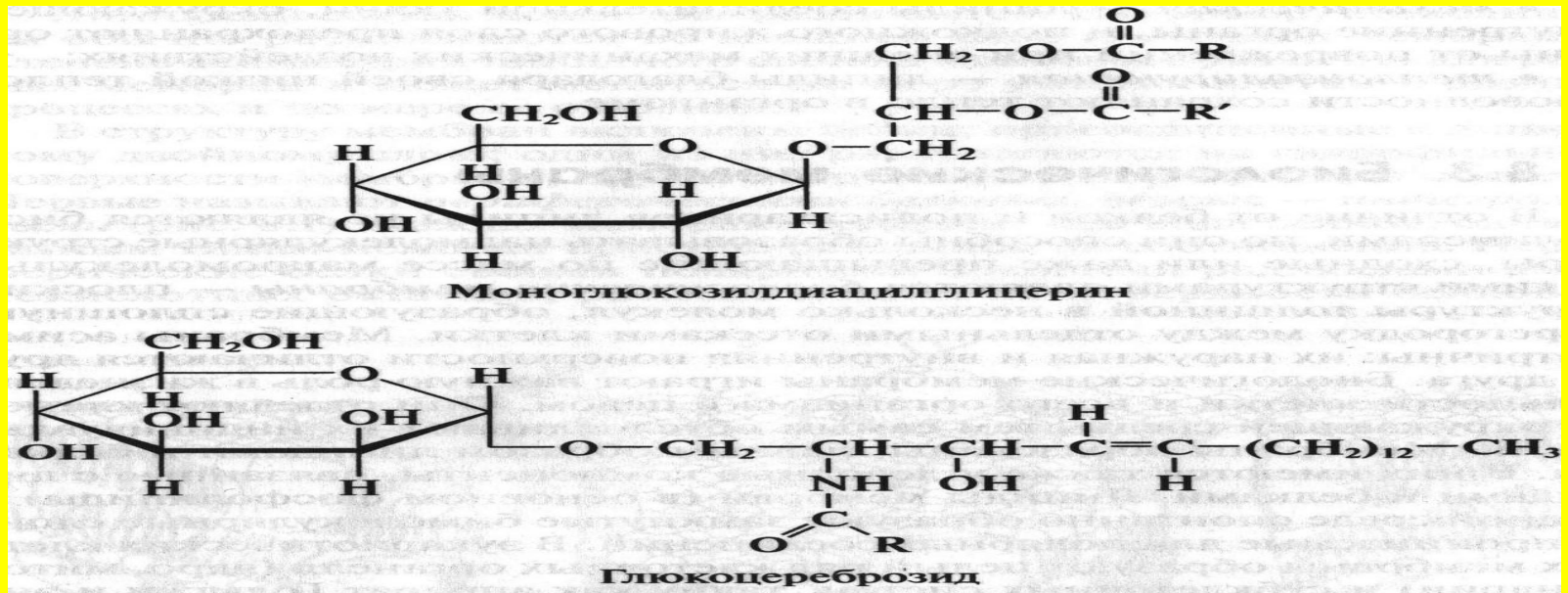
В состав гликолипидов могут входить разные спирты: глицерин или сфингозин, высшая жирная кислота и углеводный компонент (глюкоза, галактоза, глюкозамин, галактозамин и их ацетильные производные либо олигосахаридные цепи).

Важное значение в организме человека имеют гликосфинголипиды: цереброзиды и ганглиозиды.

ЦЕРЕБРОЗИДЫ – содержат спирт сфингозин, жирные кислоты и остатки различных сахаров: D-глюкозу или D-галактозу. Цереброзиды, в состав которых входят D-галактоза, содержатся в клетках белого вещества мозга, тогда как цереброзиды содержащие D-глюкозу, присутствуют в мембранах других клеток. **СУЛЬФОЛИПИДЫ**- для нормальной электрической деятельности нервной системы (производные цереброзидов).

ГАНГЛИОЗИДЫ – это наиболее сложные по строению сфинголипиды. В их состав входит несколько остатков сахаров, а также остатки N-ацетилнейраминовой (сиаловой) кислоты. Ганглиозиды содержатся в сером веществе мозга, где составляют 6% мембранных липидов. Ганглиозиды являются компонентом специфических рецепторных участков, расположенных на поверхности клеточных мембран, т.е. там, где происходит связывание молекул нейромедиатора в процессе химической передачи импульса от одной нервной клетки к другой.

Пример:



СТРОЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЫ

1. Липид (гидрофильная полярная головка, гидрофобные углеводородные хвосты), 2. Трансмембранный белок, 3. периферический белок, 4,5 – углеводы, прикрепленные к липидам и белкам.

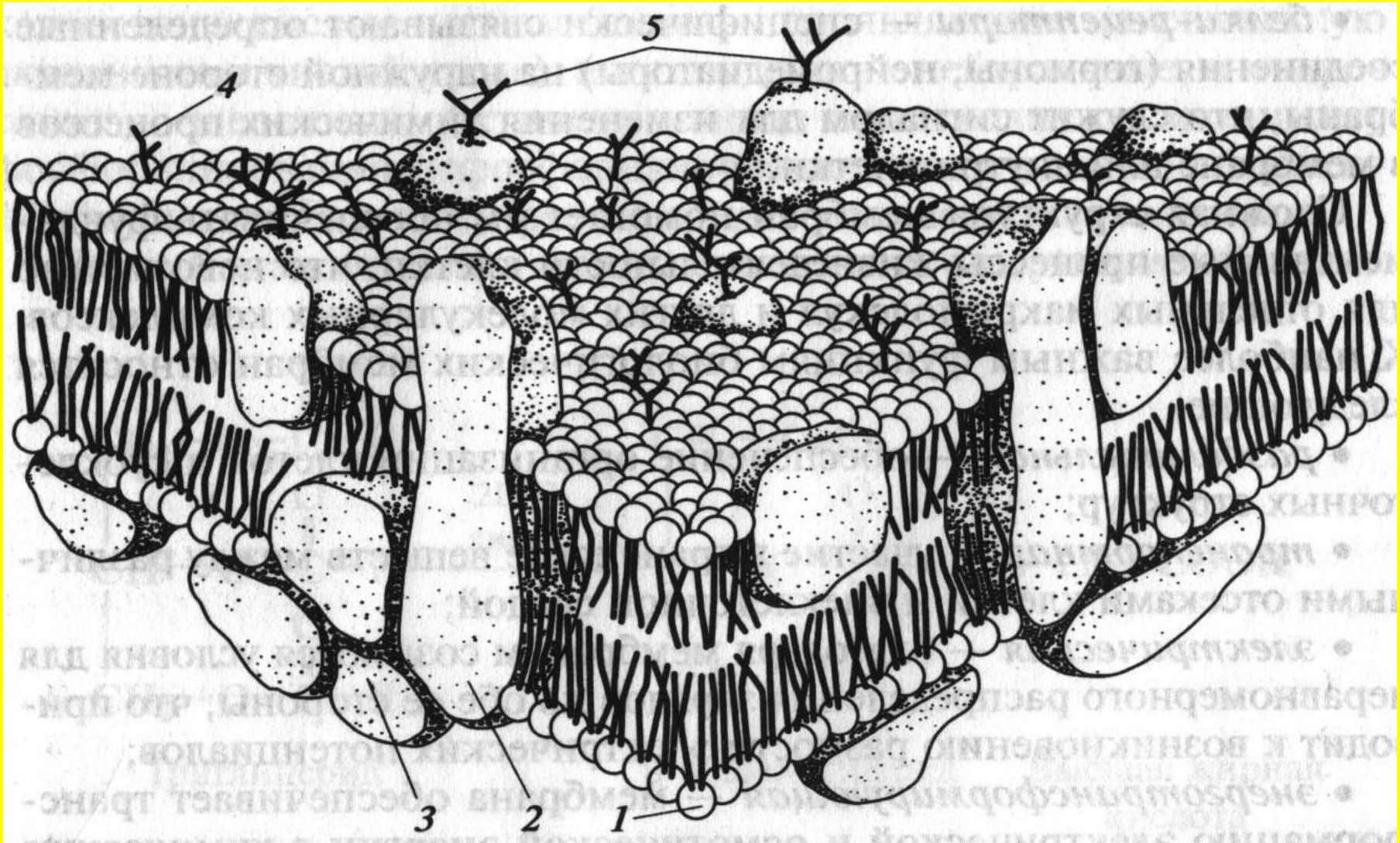
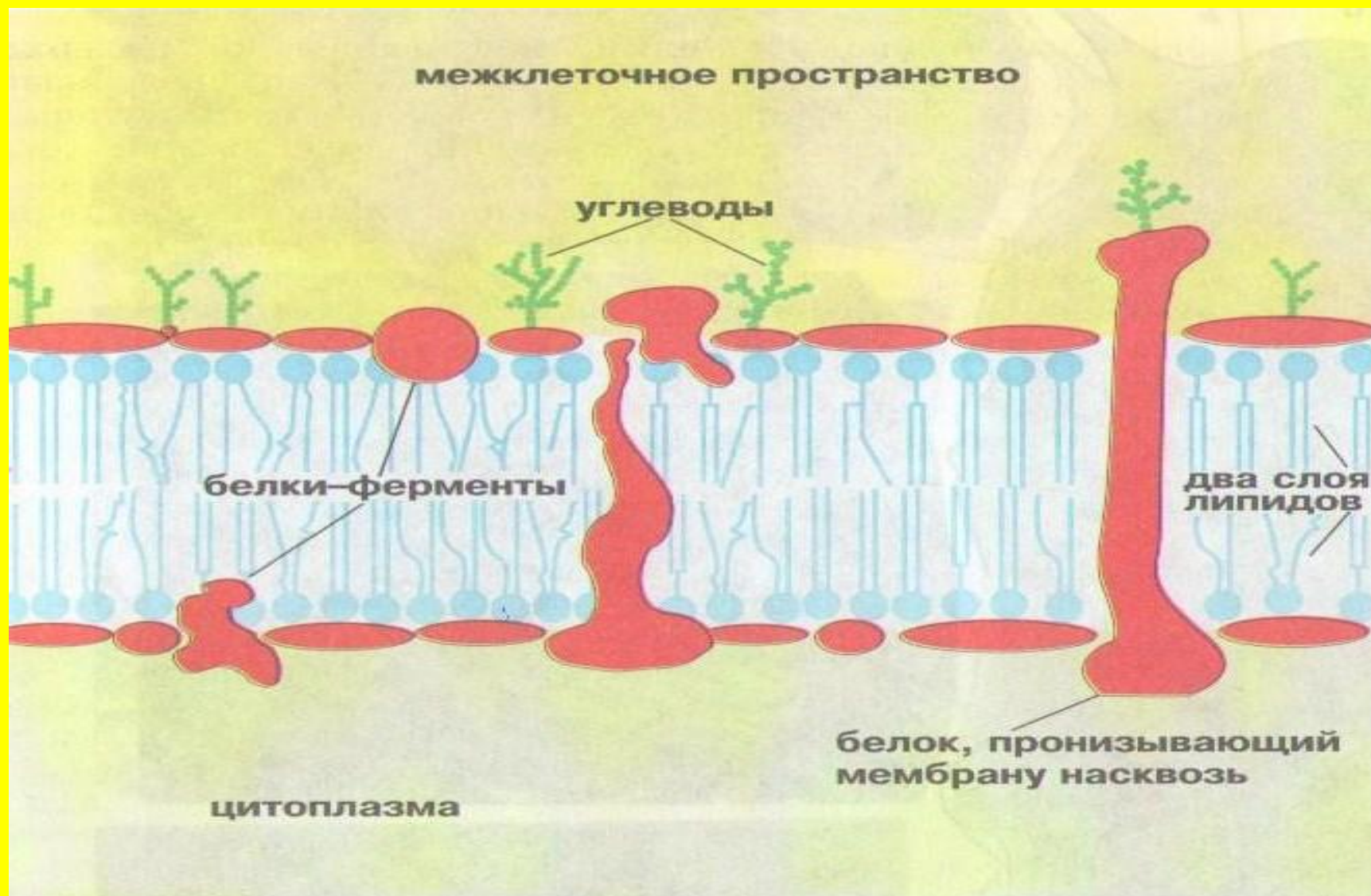


СХЕМА СТРОЕНИЯ ПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЫ



БЛАГОДАРЮ

За

ВНИМАНИЕ