**ЛІПІДИ**

1. Загальна біологічна характеристика ліпідів. Основні біологічні функції.

1. Класифікація ліпідів.
2. Прості ліпіди. Жирні кислоти. Гліцерин.
3. Стерини та стериди. Холестерин. Воски.
4. Складні ліпіди. Фосфогліцериди. Фосфатиди-негліцериди. Гліколіпіди і сульфоліпіди.

*1. Загальна біологічна характеристика ліпідів. основні біологічні функції*

Ліпіди (lipos - жир, грецьк.) - це велика група різноманітних за хімічною будовою органічних речовин нерозчинних у воді і розчинних у неполярних органічних розчинниках - ефірі, хлороформі, ацетоні, бензолі і т. ін.

Біологічні функції ліпідів визначаються їхньою будовою і фізико-хімічними властивостями. Специфічною властивістю ліпідів є їхня здатність утворювати у водному середовищі емульсії різного ступеня дисперсності та стійкості. Ця властивість має суттєве біологічне значення. Так, від емульгування ліпідів у шлунково-кишковому тракті залежить їх розщеплення та всмоктування. У вигляді емульсії жир знаходиться в крові, лімфі і транспортується до різних органів і тканин, включаючись в обмінні процеси.

Ліпіди відіграють подвійну біологічну роль - енергетичну та структурну. При їхньому розщепленні звільнюється велика кількість енергії. Так, окислення 1 г жиру в організмі людини супроводжується утворенням 35-39 кДж енергії.

Ліпіди як пластичний матеріал, утворюючи комплекси з білками (ліпопротеїни) вуглеводами (глїколіпіди), складають основу структури клітин і тканин.

Особливо важливою є роль ліпідів у структурі мембран клітин та клітинних органел - мітохондрій, рибосом, ядра тощо.

Мембрани, як відомо, відіграють надзвичайно важливу роль у структурі, обміні та функціях клітини.

У кожному типі мембран внутрішня частина являє собою бімолекулярний шар ліпідів, на якому з внутрішньої і зовнішньої сторін розташовані білки, немовби вбудовані з двох боків у ліпідний прошарок. Тому мембрани і вважають багатошаровими або ламелярними структурами. Окрім того, відкладаючись у значних кількостях у підшкірній жировій клітковині, жир відіграє роль термоізолятора, запобігаючи втраті організмом тепла, а також виконує механічну функцію, уберігаючи організм від травмування.

Високий вміст ліпідів у клітинах нервової тканини й особливо головного мозку свідчить про їхню важливу роль у формуванні структури і функцій нервової системи.

Як складні ефіри спиртів та вищих жирних кислот, ліпіди є найважливішим джерелом ендогенної води, яка утворюється під час їхнього окислення, тому що з усіх органічних сполук ліпіди містять найбільшу кількість атомів водню.

Ліпіди і продукти їхнього обміну утворюють велику групу біологічно активних сполук, які впливають на метаболізм і структуру клітин і організму в цілому. Це чоловічі й жіночі статеві гормони, гормони кори надниркових залоз (кортикостероїди), простагландини, жовчні кислоти й жиророзчинні вітаміни -А, D, K, I E.

Основні біологічні функції ліпідів у вільному стані відображає табл.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Функція* | *Характеристика функції* | *Ліпіди, котрі здійснюють, функцію* |
| Емульгуюча | Амфіфільні ліпіди є мульгаторами. Розміщуючись на поверхні фаз масло-вода, стабілізують емульсії і перешкоджають їх розшаруванню | Фосфогліцериди, жовчні кислоти є емульгаторами для ацилгліцеринів у кишечнику. У крові фосфогліцериди ста­білізують розчинність холестерину |
| Енергетична | При розщепленні 1 г ліпідів виділяється 39,1 кДж енергії. Це більше ніж під час окислення 1 г вуглеводів і білків разом узятих | Ацилгліцерини, вільні жирні кислити |
| Структурна | Ліпіди входять до складу білково-лІпідного бішару клітинних мембран і суб-целюлярних утворень | Фосфоліпіди (фосфогліцерин-дисфінгомієліни), холестерин та його ефіри |
| Механічна | Ліпіди сполучної тканини, яка утворює капсули внутрішніх органів, і підшкірної жирової тканини, захищають органи від зовнішніх пошкоджень | Триацилгліцерини |
| Теплоізолююча | Ліпіди підшкірної жирової клітковини зберігають тепло завдяки їх низькій теп­лопровідності | Триацилгліцерини |
| Транспортна | Беруть участь у транспорті речовин (на-приклад, катіонів) через ліпідний шар біомембран, переносять ліпіди з кишеч-ника в кров, утворюючи холеїнові комплекси | Фосфоліпіди. жовчні  кислоти |
| Електроі-золююча | Є своєрідним електроізолюючим матеріа-лом у мієлінових оболонках клітин | Сфінгомієліни,  глікосфінголіпіди |
| Розчинююча | Деякі ліпіди є розчинниками для інших ліпідних речовин | Жовчні кислоти розчинники вітамінів у кишечнику |
| Гормональна | Усі стероїдні гормони, які виконують різноманітні специфічні функції | Стероїди, ізопреноїди,  похідні есенціальних жирних кислот (олеїнова, лінолева, ліноленова арахідонова) |
| Вітамінна | Усі жиророзчинні вітаміни (А, Д, Е, К) і вітаміноподібні речовини (Р, убіхінон або кофермент 0) | Стероїди, ізопреноїди, похідні есенціальних жирних кислот (олеїнова, лінолева, ліноленова арахідонова) |

*2. Класифікація ліпідів*

Існують три основні класифікації ліпідів; *біологічна,* або *фізіологічна, фізико хімічна і структурна.*

*Біологічна класифікація.* Відповідно до цієї класифікації ліпіди поділяють на *резервні* і *структурні.* Резервні ліпіди у великих кількостях депонуються в підшкірній жировій тканині, сальниках внутрішніх органів і в інших жирових депо. Загальна кількість резервних ліпідів у більшості людей становить 10-15% маси тіл Однак кількість резервних ліпідів може значно змінюватися залежно під режиму харчування, інтенсивності фізичного навантаження, стану організму та інших причин. При ожирінні кількість жиру може досягати 25-35%, а іноді навіть 50% маси тіла.

Резервні ліпіди за своєю хімічною структурою належать, головним чином, до ацилгліцеринів і в значних кількостях використовуються для енергетичних потреб організму.

Структурні ліпіди не мають такої енергетичної цінності, як резервні ліпіди. Це переважно складні ліпіди, і у вигляді ліпопротеїнів вони складають основу клітинних структур і субклітинних утворень.

*Фізико-хімічна класифікація* враховує ступінь полярності ліпідів. За цією ознакою ліпіди поділяються на *нейтральні,* або *неполярні, і полярні* До першого типу належать ліпіди, які не мають заряду, а до другого - ліпіди, які несуть заряд і мають виразні полярні властивості, наприклад фосфоліпіди, жирні кислоти.

Деякі ліпіди мають певні структурні особливості, які зумовлюють їх важливі біологічні властивості. У більшості випадків вони представлені іонними або полярними похідними вуглеводнів і належать до класу речовин, які називаються *амфіфтами.*

Амфіфіли (спорідненість) містять полярні або іонні гідрофільні групи, а також гідрофобні неполярні вуглеводневі групи. Властивості амфіфілів значною мірою визначаються природою цих груп. Так, наприклад нейтральні жири відзначаються низькою полярністю і я мають дуже малу спорідненість з водою. Інші ліпіди," такі як фосфогліцериди і сфінголіпіди, більш полярні; внаслідок виразних амфіфільних властивостей вони входять до складу основних структурних компонентів різних біологічних мембран. Ці фізико-хімічні особливості різних ліпідів зумовлюють їх різноманітні біологічні функції.

*Структурна класифікація* - це найскладніша класифікація, яка ґрунтується на хімічній будові ліпідів. Відповідно до цієї класифікації ліпіди поділяються на три великі групи: прості, складні та похідні ліпідів.

Класифікація ліпідів

**ЛІПІДИ**

Попередники і похідні ліпідів (жирні кислоти, гліцерол, стероїди, альдегіди жирних кислот і кетонові тіла,

вуглеводи і, жиророзчиннівітаміни і гормони)

Прості ліпіди Складні ліпіди

Нейтральні Стерини та стериди Фосфоліпіди Гліколіпіди

жири Ліпопротеїди

(триацилгліце-

риди Гангліозиди Цереброзиди

Воски

Гліцерофос- Сфінголіпіди

фаліпіди

*Прості ліпіди - у* хімічному відношенні є складними ефірами різних спиртів та жирних кислот. Залежно від спиртового компонента вони діляться на такі

підгрупи:

1. Нейтральні жири або гліцериди (ацилгліцерини) - складні ефіри  
трьохатомного спирту гліцерину та вищих жирних кислот.

2. Стерини і стериди. Стерини - одноатомні циклічні спирти. Стериди -  
складні ефіри одноатомних циклічних спиртів і вищих жирних кислот.

3. Воски - складні ефіри вищих одноатомних спиртні і вищих жирних кислот.

*Складні ліпіди -* це також ефіри вищих жирних кислот і спиртів, але на відміну від простих ліпідів, вони мають у своїй структурі ряд інших компонентів (азотисті сполуки, залишки фосфорної або сірчаної кислот, вуглеводи тощо). До складних ліпідів відносяться:

1. Фосфоліпіди (фосфатиди) - складні ефіри спиртів (гліцерину або сфінгозину) і жирних кислот. Окрім того, до їх складу входять залишки фосфорної кислоти і азотисті сполуки (холін, серин).
2. Гліколіпіди - складні ефіри аміноспирту сфінгозину та жирних кислот, зв'язані з вуглеводами (глюкоза, галактоза). Деякі з гліколіпідів містять нейрамінову кислоту і галактозамін.

Сульфоліпіди - подібні, до гліколіпідів, але мають у своєму складі залишок сірчаної кислоти.

*Похідні ліпідів.* Ця група речовин включає різноманітні сполуки, котрі близькі до ліпідів за будовою і фізико-хімічними властивостями.

До них належать такі речовини, як насичені і ненасичені жирні кислоти, моно- і диацилгліцерини, вищі спирти, а також каротини, жиророзчинні вітаміни (А, Д, Е, К) та ін.

1. *Прості ліпіди. жирні кислоти. гліцерин*

Нейтральні жири - тригліцериди (триацилгліцерини). Вони складають основу резервних ліпідів і служать джерелом енергії. Оскільки жири є складними ефірами гліцерину і жирних кислот, то їх різноманітність залежить переважно від природи і властивостей жирних кислот, які входять до складу їх молекули.

Вищі жирні кислоти с основними гідрофобними компонентами простих і складних ліпідів. Із різних ліпідів виділено понад 200 жирних кислот. Вони відрізняються між собою довжиною зв'язків, а також замісниками (окси-, кето-, циклічні структури). Більшість жирних кислот, які входять до складу жирів, мають нерозгалужений вуглеводневий ланцюг і парну кількість атомів вуглецю.

У природі жирні кислоти у вільному стані зустрічаються рідко. Проте, утворюючи *ефірні* чи *амідні зв'язки,* вони входять до складу різних класів ліпідів, зазначених вище, а також багатьох проміжних продуктів метаболізму ліпіді.

Серед них можуть бути насичені кислоти (масляна, капронова, пальмітинова, стеаринова) і ненасичені, які мають різну кількість подвійних зв'язків: один (олеїнова), два (лінолева), три (ліноленова), чотири (арахідонова).

Суміш жирних кислот, яку одержують під час гідролізу ліпідів із різних природних джерел, звичайно, містить як насичені, так і ненасичені жирні кислоти. У ліпідах тваринного походження переважаючою насиченою жирною кислотою є пальмітинова (С16,), друге місце займає стеаринова кислота (С18).

Більш короткі жирні кислоти (С14 і С12), як і довголанцюгові (до С28), зустрічаються лише в невеликих кількостях. Жирні кислоти, які містять 10 або менше вуглецевих атомів, у тваринних ліпідах зустрічаються рідко, причому у вільному стані ці жирні кислоти в організмі містяться в невеликій кількості, переважно як продукти обміну.

У деяких рідинах організму, таких як молоко і молозиво, присутні жири, які містять разом із вищими жирними кислотами (пальмітиновою, олеїновою) і коротко ланцюгові жирні кислоти (масляна, капронова). У жіночому молоці виявлено близько 40 різних жирних кислот.

У жирових депо відкладаються, головним чином, ліпіди, які містять вищі жирні кислоти з довжиною ланцюга 16-18 вуглецевих атомів.

Що стосується ненанасичених жирних кислот які зустрічаються в природі то всі вони при кімнатній температурі - рідини.

Одинарний подвійний зв'язок у жирних кислотах тваринного походження звичайно знаходиться в 9,10-положенні жирної кислоти. Двома найбільш розповсюдженими мононенасиченими жирними кислотами тваринного походження є олеїнова і пальмітоолеїнова

СН3—(СН3)5—СН=СН— (СН2)7—СООН

*Пальмітоолеїнова кислота*

Проте олеїнова кислота в природі превалює в кількісному відношенні.

Наявність подвійного зв'язку створює можливість утворення цис- та транс-ізомерів. Як правило, природні жирні кислоти з одним подвійним зв'язком є цис-ізомерами.

Жирні кислоти, які мають більше одного подвійного зв'язку, відносяться до поліненасичених кислот.

Встановлено, що чим активніший обмін і функція клітин, тим більше подвійних зв'язків у жирних кислотах, які беруть участь в утворенні їх мембран. Так, із мембран паличкоподібних зорових клітин сітківки ока виділено поліненасичену жирну кислоту, яка має 22 атоми вуглецю в ланцюзі і 6 подвійних зв'язків,

Поліненасичені жирні кислоти входять до складу харчових жирів, особливо рослинних олій, таких як кукурудзяна, соняшникова, горіхова, оливкова, бавовняна та інших, а також деяких лікарських препаратів (риб'ячий жир, лінетол, есенціале, олія обліпихова, олія шипшини, арахіден та ін.),

Найважливішими для організму людини і вищих тварин є такі полінена-сичені кислоти, як лінолева, ліноленова й арахідонова. Ці кислоти в організмі або зовсім не синтезуються (лінолева і ліноленова), або утворюються в недостатніх кількостях (арахідонова), тому їх називають *незамінними,* або *есенціальними* кислотами (виключний) ї відносять до вітамінів (вітамін F). Ці кислоти відзначаються високою біологічною активністю. Експериментально доведено, що у разі недостатності лінолевої і ліноленової кислот у тварин, наприклад у щурів, починається випадіння шерсті, посилюється злущування епітелію, а в молодих тварин припиняється ріст.

Жирні кислоти

|  |  |
| --- | --- |
| ***Насичені*** | ***Ненасичені*** |
| Масляна С3Н7СООН | Олеїнова С17Н33СООН |
| Капронова С5Н11СООН | Лінолева С17Н31СООН |
| Пальмітинова С15Н13СООН | Ліноленова С17Н29СООН |
| Стеаринова С17Н35СООН | Арахідонова С19Н31СООН |

Характерними біохімічними ознаками дефіциту ненасичених жирних кислот є порушення обміну холіну, холестерину і фосфору. Встановлено, що поліненасичені жирні кислоти знижують вміст холестерину в крові, стимулюють його обмін у печінці і виведення із жовчю. Ефіри холестерину з поліненасиченими жирними кислотами - це важлива транспортна форма стероїдів і необхідна ланка їх метаболізму, Похідними ноліненасичених жирних кислот є гормони простагландини.

*Гліцерин*

Спиртовим компонентом більшості нейтральних жирів виступає гліцерин.

СН2ОН

‌ |

СНОН

|

СН2ОН

Це триатомний спирт. У структурі гліцерину відсутній асиметричний атом вуглецю. Він розчинний у воді та етанолі і нерозчинний або слабо розчинний в органічних розчинниках. Гліцерин утворює ефіри з жирними кислотами типу гліцеридів (ацилглїцеринів), які називають також *нейтральними ліпідами.*Ацилгліцерини поділяються на моно-, ди- та три-ацилгліцерини, які містять  
відповідно один, два і три ефірозв'язані ацили (RСО-):

O

||

Н2С—О—C—R

‌ O

||

НС— О— C—R *Триацилгліцерин*

‌ O

||

Н2С—О—C—R

*Номенклатура триацилгліцеринів*

Якщо до складу молекули жирів входять гліцерин та три залишки будь-якої однієї кислоти, то такі жири називають *моноацидними,* або *простими триацилгліцеринами.* У ньому випадку назва молекули жиру утворюється з назви жирної кислоти із зазначенням кількості її залишків у молекулі Наприклад, моноацидний жир, утворений із трьох молекул стеаринової кислоти, називається тристеарином, утворений із пальмітинової кислоти -трипальмітином, а із олеїнової - триолеїном.

Якщо до складу молекули жиру входять різні жирні кислоти, то такий жир називається *гетероацидним,* Гетероацидний жир може містити або три різні, або дві однакові жирні кислоти. Відповідно до цього утворюється і назва. Наприклад, стеаропальмі-тоолеїн або дистеаропальмітин. Фізико-хімічні властивості ацил-гліцеринів значною мірою залежать від переважання в їхньому складі тієї чи іншої жирної кислоти. Так, стеаринова кислота плавиться при температурі 70°С, тому при звичайній температурі жир, у якому вона переважає, буде твердим, наприклад, жир вівці. Моно- і диацилгліцерини, які мають вільні полярні гідроксили, розчинні у воді. Вони утворюють у воді міцели. Триацилгліцерини не мають здатності до утворення міцел і не розчинні у воді. При лужному гідролізі або омиленні ацилгліцеринів здійснюють ферменти *ліпази.*

До складу жирів підшкірної клітковини входить 50-60% олеїнової кислоти, тому вони плавляться при 17-23 °С, перебуваючи в організмі фактично в рідкому стані. Це сприяє обміну жиру між жировою тканиною і кров'ю, а також прискорює його внутрішньоклітинне використання.

Прості моноацидні жири отримують переважно штучним шляхом. В організмі людини і вищих тварин більшість жирів гетероацидні. Вміст жиру в деяких органах, тканинах і рідинах людини (у %) у перерахуванні на сиру масу такий:

печінка 1,5-3,0

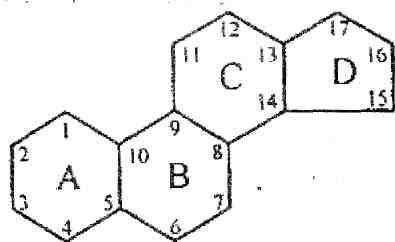
м'язи 1,0-1,1

кров 0,2-0,3

молоко 3,2-3,8

*4. Стерини та стериди. холестерин. воски.*

*Стерини та стериди*



*Циклопентанпергідрофенантрен (стеран)*

Сполуки цієї групи можна розглядати як похідні відновленої конденсованої циклічної системи - циклопентанпергідрофенаетрену, який складається 5 трьох конденсованих циклогексанових кілець (А, В і С) у нелінійному або фенантреновому сполученні і циклопентанового кільця В.

Стерини, або стероли, - одноатомні вторинні спирти, похідні циклопентан-пергідрофенантрену. Вони широко розповсюджені в живій природі і залежно від походження розподіляються на дві групи - тваринні (зоостерини) і рослинні (фітостерини). У складі тканин стерини перебувають або у вільному стані або (частіше) у вигляді складних ефірів з жирними кислотами - стеридів.

До зоостеринів відносяться: холестерин (С27Н45ОН), десмостерин (С27Н43ОН), ланостерин (С30Н40ОН) і ряд інших. Найбільше значення в організмі людини і тварин має холестерин *Холестерин* (холестерол) уперше був виділений ще у XVIII сторіччі із жовчних каменів, звідки і походить його назва (сhоlе - жовч, лат.).

Холестерин - це циклічний ненасичений одноатомний спирт. З'єднуючись із жирними кислотами, переважно ненасиченими, холестерин утворює складні ефіри - холестериди. Холестерин і його ефіри є складовою частиною мембран клітин і субклітинних структур. Особливо великий їх вміст (більше *2%) у* тканині головного мозку. У крові ефіри холестерину складають основну частину загального холестерину і транспортуються в складі ліпопротеїдів.

В організмі людини та вищих тварин із холестерину утворюються такі біологічно активні сполуки, як гормони кори надниркових залоз -кортикостероїди, статеві гормони, а також жовчні кислоти.

Холестерин може з'єднуватися своєю гідроксильною групою не тільки з жирними кислотами, але й з іншими сполуками в тому числі токсичними речовинами (наприклад, з токсинами патогенних мікроорганізмів, гемолітич-ними отрутами змій тощо) і знешкоджувати їх.

Окрім холестерину, у деяких тканинах (кістковий мозок, кров, нервова тканина шкіра) у невеликих кількостях містяться 7-оксихолестсрин, 7-дегідрохолестерин, який має ще один подвійний зв'язок у положенні С7-С8. Під дією ультрафіолетового опромінення 7-дегідрохолестерин, який є у людини в шкірі, перетворюється у вітамін Д3.

*Воски*

Загальна назва *воски* відноситься до природних ефірів вищих жирних кислот і витих монооксиспиртів. Воски утворюють захисне покриття на шкірі, шерсті, пірї, а також є головними ліпідними компонентами багатьох видів морського планктону - одного з основних джерел їжі океанської фауни.

*Ланолін* - жир шерсті вівці є сумішшю жирнокислотних ефірів ланостерину й агностерину і застосовується у фармації як мазева основа.

*Спермацет.* Входить до складу спермацетового масла, яке добувають із черепних порожнин кашалота.

Основна складова частина спермацету - *цетилпальмітин -* складний ефір цетилового спирту і пальмітинової кислоти.

*Бджолиний віск -* це суміш різних речовин ліпідної природи, серед яких основною складовою частиною є складний ефір мірицилового спирту і

пальмітинової кислоти – мірицилпальмітин. Ланолін, спермацет та бджолиний віск широко використовуються в парфумерії і фармації як основа для приготування кремів і мазей.

*5. Складні ліпіди. фосфогліцериди. фосфатиди-негліцериди. гліколіпіди і сульфоліпіди*

*Складні ліпіди*

Складні та змішані ліпіди на відміну під простих ліпідів містять неліпідний компонент, наприклад фосфат (фосфоліпіди), вуглевод (гліколіпіди), білки (ліпопротеїди) та ін.

Фосфоліпіди (фосфатиди), як уже зазначалося, є складовою частиною мембран клітин і субклітинних структур - ядер, мітохондрій, рибосом. Це складні ефіри жирних кислот та спиртів, але, крім того, до їх складу входять фосфорна кислота і такі азотовмісні речовини, як амінокислоти й аміноспирти.

Залежно від характеру спирту, що входить до складу їх молекули, фосфатиди поділяються на дві групи: фосфатид-гліцериди, або фосфогліцериди і фосфатиди-негліцериди.

*Фосфогліцериди*

Ліпіди цього класу, що називаються також *гліцерофосфатами,* містяться практично тільки в клітинних мембранах, і лише дуже невелика кількість фосфогліцеридів знаходиться в складі жирових депо.

Молекули всіх фосфогліцеридів мають полярну голову і два неполярних вуглеводневих хвости; тому їх називають *амфіпатичними,* або *полярними* ліпідами.

Кожний тип фосфогліцеридів може бути представлений великою кількістю різних сполук, що відрізняються залишками жирних кислот. Як правило, вони містять один залишок насиченої й один залишок ненасиченої жирної кислоти, причому остання знаходиться в положенні С2 гліцерину. До структури природних фосфогліцеридів входить α-гліцеринфосфорна кислота.

*Лецитин.* Одним з найперших фосфогліцеридів, отриманим ще у 1845 р. з яєчного жовтка, був лецитин (жовток). У молекулі лецитину два гідроксили гліцерину з'єднані з двома молекулами вищих жирних кислот, з котрих одна, як правило, ненасичена. Третій гідроксил з'єднується з фосфорною кислотою, до якої приєднується аміноспирт - холін. Таким чином, лецитин відноситься до *фосфатидилхолінів.*

Кефалін. Ця група фосфоліпідів на відміну від лецитину містить замість холіну аміноспирт коламін (етаноламін). Тому ця група фосфоліпідів одержала назву *коламінфосфатидів.*

Хоча кефалін і лецитин - це старі назви, проте й до теперішнього часу вони використовуються досить часто. Цї два фосфогліцериди метаболічне зв'язані один з одним і є основними ліпідними компонентами більшості мембран у клітинах тварин.

*Серинфосфатиди* вперше були виділені із головного мозку бика, а потім знайдені і в більшості інших тканин тварин, рослин і бактерій. Вони побудовані з тих же складових частин, але азотовмісна частина в них містить амінокислоту серин

*Інозитфосфатиди* вперше виділені зтуберкульозних паличок, а потім знайдені в рослинах і тканинах тварин. Ця група фосфатидів характеризується тим, що до їхнього складу входить шестиатомний циклічний спирт інозит.

Існує порівняно багато форм інозитфосфатидів, які відрізняються наявністю або відсутністю (наприклад, ліпозитол) у їх структурі молекули гліцерину, кількістю залишків жирних і фосфорної кислоти. Залежно від цього інозитфосфатиди діляться на три основні групи; монофосфоінозитфосфатиди (де один залишок фосфату сполучається з інозитом), поліфосфоінозитфосфатиди (в яких декілька фосфатів приєднуються до гідроксильних груп інозиту) і складні інозитфосфатиди (у яких до інозиту приєднуються інші речовини - амінокислоти, моносахариди, фітосфінгозин). Поліфосфорні інозитфосфатиди виявлені переважно в головному мозку людини і вищих тварин, де, як вважають, вони відіграють важливу роль у нервовій діяльності. У рослинному світі на них багаті соя, арахіс, соняшник.

Плазмалогени містяться в усіх тканинах організму людини і становлять близько 20% від загальної кількості фосфоліпідів. Особливо багато їх у головному і спинному мозку, де 50-90% під вмісту всіх ліпідів припадає на плазмалогени.

*Кардіоліпін* - подібний до фосфатидилгліцеринів, але має більш складну структуру. Хребет молекули кардіоліпіну включає три залишки гліцерину.

Кардіоліпін уперше був виділений із серця бика і звідси отримай свою назву. Надалі він був виявлений у багатьох тканинах тварин і людини, в зеленому листі вищих рослин, дріжджах. Вміст його в клітинах складає 7-5% від маси ліпідів. Проте в мембранах мітохондрій він є головним компонентом фосфоліпідів.

*Фосфатиди-негліцериди*

*Діольні фосфатиди (фосфоліпіди) -* нова, нещодавно відкрита група сполук. Вони є похідними двохатомних спиртів, у яких одна зі спиртових груп етерифікована залишком жирної кислоти, а інша зв'язана з фосфатом і будь-яким /спиртом, наприклад і холіном. У організмі діольні фосфоліпіди можуть зв'язувати з клітинними мембранами, змінюючи їх функцію. Вони виявляють виразні поверхнево-активні властивості. Великі їх концентрації призводять до гемолізу еритроцитів. Діольні фосфоліпіди впливають на імунні реакції і усувають вплив медіатору ацетилхоліну на клітини, тобто виявляють холінолітичну дію.

*Сфінгомієліни.* Вони у великих кількостях містяться в нервовій тканині, входячи до складу мієліну, який утворює оболонку нервових волокон {звідси пішла їх назва). Сфінгомієліни виявлені і в інших органах (легені, печінка, нирки, селезінка, а також у крові).

Сфінгомієліни побудовані з двохатомного ненасиченого аміноспирту сфінгозину, холіну, фосфорної та жирної кислот, причому жирна кислота своїм карбоксилом реагує з аміногрупою сфінгозину, в результаті чого утворюється ациламідний зв'язок.

Сфінгомієліни відрізняються між собою характером жирної кислоти, котра входить до їхнього складу (стеаринова, пальмітинова, лігноцеринова).

*Гліколіпіди і сульфоліпіди.* Гліколіпіди - це велика група складних ліпідів, що містять у своєму складі вуглеводи.

У гліколіпідів голову молекули утворюють полярні, гідрофільні групи вуглеводів, найчастіше D-галактоза, але може бути й глюкоза, а в деяких випадках -галактозамін і нейрамінова кислота.

Найпростішими гліколїпідами є *глікозилдиацилгліцерини,* виявлені в рослинах і мікроорганізмах.

Інша група - *цереброзиди,* їх можна розглядати і як гліколіпіди, і як сфінголіпіди, оскільки ці сполуки містять і цукор, і аміноспирт сфінгозин. Особливо багато цереброзидів міститься в мембранах нервових клітин і, зокрема, в мієліновій оболонці. Жирні кислоти, які входять до складу цереброзидів незвичайні, бо містять понад 20 атомів вуглецю; найчастіше зустрічаються нервонова, церебронова і лігноцеринова кислоти.

Нижче наведено формулу цереброзиду нервову, до складу якого входять нервонова кислота (С23Н45СООН) і галактоза. Остання своїм напівацетальним гідроксилом утворює глікозидний зв'язок зі спиртовою групою сфінгозину.

Інший великий клас гліколіпідів складають ***гангліозиди.*** Це надзвичайно складні, багаті вуглеводами ліпіди з дуже великими молекулами. Як правило вони виявляються на зовнішній поверхні клітинних мембран, особливо в нервовій тканині. Наприклад, у складі гангліозидів із мозку бика виявлені: жирна кислота, спирт сфінгозин, цукри D-глюкоза і D-галактоза і похідні аміноцукрів - N-ацетил-глюкозамін і N-ацетилнейрамінова кислота. Таким чином, у структурному відношенні гангліозиди подібні до цереброзидів з тією різницею, що замість одного залишку галактози вони мають складний олігосахарид.

*Сульфоліпіди -* це сульфатні похідні цереброзидів. Сульфат приєднується до третього гідроксилу галактози. Вони мають дуже виразні кислотні властивості і легко зв'язують катіони. Вважають, що вони беруть участь у транспорті катіонів через мембрани нервових клітин і волокон. Тому сульфоліпіди потрібні для нормальної електричної активності нервової системи.

*Ліпопротеїди* — комплекси ліпідів з білками. По будові це невеликого розміру (150-200 нм) сферичні частини, зовнішня оболонка яких утворена білками (що дозволяє їм пересуватися по крові), а внутрішня частина - ліпідами та їхніми похідними.

Основна функція ліпопротеїдів - транспорт по крові ліпідів. Залежно від кількості білка й ліпідів ліпопротеїди розділяються на хіломікрони, ліпопротеїди низкою щільності (ЛПНЩ) і високої щільності (ЛПВЩ), які раніше позначалися як α- і β-ліпопротеїди.

Хіломікрони - найбільш великий клас ліпопротеїдів і містять до 98-99% ліпідів і тільки 1-2% білка. Вони утворяться в клітинах слизової оболонки кишечника і забезпечують транспорт ліпідів з кишечника в лімфу, а потім у кров.

У ЛПНЩ кількість білка становить 9-20%, а серед ліпідів переважають холестерин і триацилгліцерини (до 40%). Білкова частина ЛПВЩ коливається в межах 35-50%, а ліпідна представлена фосфоліпідами і холестерином. Таким чином, холестерин транспортується по крові в складі ліпопротеїдів, особливо ЛПНЩ. Внаслідок цього між рівнем холестерину й ЛПНЩ відзначається пряма залежність: підвищення холестерину супроводжується збільшенням у крові його транспортної форми ЛПНЩ і навпаки. От чому визначенню рівня ліпопротеїдів у крові надається важливе значення в клінічній лабораторній діагностиці.