**4.Складні білки. Біологічна роль**

Важливими компонентами живих організмів, які містяться в них у значній кількості, є складні білки. Окрім амінокислот, до їх складу входить ще небілковий компонент.

Молекула складного білка визначається терміном – «холопротеїн». Холопротеїн складається з апопротеїну (поліпептиду) та небілкового компоненту – простетичної групи (від гр. prostheto – приєдную, додаю):

*холопротеїн=апопротеїн +простетична група*

Небілковий компонент (простетична група) може по-різному сполучатися з білковим компонентом. В одних випадках він міцноприєднується до поліпептидного ланцюга за допомогою ковалентних зв'язків (гемоглобін, родопсин, флавопротеїни та ін.), в інших – небілковий компонент з’єднується з білком за допомогою сил слабких взаємодій, як, наприклад, в нуклеопротеїнах та ліпопротеїнах крові. Такі представники складних білків мають властивість легко дисоціювати в розчинах на складові компоненти.

В якості простетичної групи до складних білків можуть входити біомолекули, що належать до різних класів органічних сполук (вуглеводи, ліпіди та ін.). Іноді небілкові компоненти складних білків представлені неорганічними молекулами (залишками ортофосфатної кислоти) і, навіть, атомами металів (Феруму, Купруму, Молібдену тощо).

Включення до складу молекули білка небілкового компоненту надає їй особливі властивості, що не характерні для вільного поліпептидного ланцюга. Так, приєднання ліпіду викликає появу гідрофобної ділянки, за рахунок чого молекула білка набуває здатності вбудовуватися в гідрофобний шар клітинної мембрани; приєднання гема надає молекулі здатності зв'язувати кисень та переносити електрони, а кон'югація з поліпептидним ланцюгом олігосахариду сприяє збільшенню тривалості існування білка в цитоплазмі клітини, оскільки в такому вигляді гальмується його гідроліз протеолітичними ферментами.

Сполучення простетичної групи з поліпептидним ланцюгом викликає зміну конформації останнього. В результаті чого:

* змінюється структура активних ділянок білкової молекули− (активних центрів ферментів, ділянок зв'язування рецепторних білків та білкових гормонів). І, як наслідок цього, модулюються каталітичні властивості ферментів, спорідненість рецепторів до їх лігандів та лігандів до рецепторів;
* змінюється стійкість білка до гідролізу протеолітичними− ферментами та до дії факторів денатурації;
* формуються умови для зворотнього скріплення лігандів, а,− значить, для їхнього транспорту в організмі та клітині;
* виникає можливість для вбудови білків у певні− внутрішньоклітинні мембрани

Таким чином, природа простетичної групи складного білка набуває вирішального значення у визначенні його властивостей, функцій та локалізації в клітині. З нею пов'язане і все різноманіття світу складних білків. Саме будова небілкового компонента використовується в якості класифікаційної ознаки при об'єднанні складних білків в однорідні групи.

Виходячи з цього, всі складні білки, в залежності від хімічної структури їх небілкового компонента, поділяються на:

* **хромопротеїни** (забарвлені білки), до складу яких входять:

- гемопротеїни, що включають в свій склад різні види гема;

− хлорофілпротеїни (магній-порфірини), простетичною групою− яких є хлорофіл;

-флавопротеїни, що містять у своєму складі флавінову групу;

− ретинальпротеїни, що включають в свій склад вітамін А в− альдегідній формі тощо;

* **глікопротеїни**, що включають у свій склад вуглеводи;
* **ліпопротеїни**, що включають у свій склад ліпіди;
* **нуклеопротеїни**, що включають у свій склад нуклеїнові кислоти;
* **фосфопротеїни**, що включають у свій склад залишки ортофосфатної кислоти;
* **металопротеїни**, що включають у свій склад атоми металів.

Слід зауважити, що представлена вище класифікація дуже умовна. Це пояснюється тим, що в залежності від використаної ознаки, одні й ті ж білки можуть бути віднесені до різних груп. Так, наприклад, гемопротеїни, з одного боку, належать до хромопротеїнів, бо їх розчини мають характерне червоне забарвлення; з іншого боку, вони відносяться до металопротеїнів, оскільки містять в своєму складі атом Феруму. Фосфопротеїни зазвичай існують у формі кальцієвих солей, внаслідок чого також можуть бути віднесені до металопротеїнів.

Розглянемо особливості будови, характерні властивості та біологічну роль окремих представників різних груп складних білків.

**Хромопротеїни**

До хромопротеїнів (від гр.chroma – барва) належать гетерогенні білки, забарвлення яких залежить від природи простетичної групи. Так, наприклад, гемопротеїни забарвлені в червоний колір, родопсини – в помаранчевий, флавопротеїни – в жовтий, церулоплазмін – в блакитний тощо.

Хромопротеїни надзвичайно поширені у тваринному (залізопорфіриновмісні білки) і рослинному (магнійпорфіриновмісні білки) світі. Білки, що містять залізопорфіринові комплекси, створюють підгрупу хромопротеїнів, яка має назву гемопротеїни.

*Гемопротеїни* - група білків, до структури яких в якості простетичної групи входить гем. Їх представниками є гемоглобін, міоглобін, цитохроми, каталаза та пероксидази.

*Гемоглобін* входить до складу еритроцитів і заповнює більшу частину їх внутрішньоклітинного простору. Його основна функція пов'язана з транспортом газів (кисню та вуглекислого газу) в організмі. Крім цього, він бере участь у підтримці кислотно-лужного балансу в організмі людини і тварин, створюючи найпотужнішу гемоглобінову буферну систему крові.

В даний час досить добре вивчені його структура та властивості. У дорослої людини в крові розрізняють такі фізіологічні типи гемоглобіну:

1. Гемоглобін A1 (HbA1 – від англ. adult– дорослий), вміст якого становить 96 % від загальної кількості Hb.

2. Гемоглобін A2 (HbA2) - вміст становить до 2,5 %.

3. Фетальний гемоглобін (HbF від англ. fеtus- плід) складає 1,5 - 2 %.

Головним же чином HbF - гемоглобін плоду та новонароджених, оскільки в крові новонародженої дитини його вміст становить до 80 %, але в перші 3 місяці після народження HbF майже повністю замінюється на HbA.

Молекула гемоглобіну дорослої людини HbA1, складається з чотирьох поліпептидних ланцюгів, кожен з яких пов'язаний з одним гемом. Білкова частина молекули гемоглобіну має назву "глобін".

До складу HbA1 входять 2 α та β2 -ланцюги, які є продуктами експресії двох різних генів і тому мають різну первинну структуру. До складу α-ланцюга – 141, а до складу βланцюга входить - 146 амінокислотних залишків. За просторовою структурою обидва типи ланцюгів нагадують молекулу міоглобіну. Схематично гемоглобін А1 записують так: HbA1 = α2β2. В гемоглобіні А2 замість β субодиниці знаходиться δ: HbA2 = α2δ2, а у фетальному гемоглобіні - γ, тобто HbF = α2γ2.

При утворенні четвертинної структури гемоглобіну виникають численні нековалентні зв'язки між окремими поліпептидними ланцюгами глобіну. Найбільша їх кількість утворюється між різними типами ланцюгів (α –β , α - δ, α - γ). Ці зв'язки переважно мають характер гідрофобних взаємодій, які виникають між радикалами окремих амінокислот (лейцин, валін, фенілаланін та ін.).

Небілковий компонент гемоглобіну – гем. Основою будови гему є порфірин. Порфірин складається з чотирьох пірольних кілець, з'єднаних між собою α-метиновими містками (–СН=). У залежності від хімічної природи груп, які знаходяться в бічному ланцюзі, порфірини мають багато ізомерів. З можливих 15 ізомерів протопорфіринів найпоширенішим виявився протопорфірин IX. Він має в положеннях 4 метильні, 2 вінільні та 2 пропіонільні групи . Хелатний комплекс протопорфірину IX з Fe2+ називається протогемом IX або гемом.

Атом Феруму, що входить у структуру гема, утворює два ковалентні зв'язки з атомами Нітрогену двох пірольних кілець і два координаційні зв'язки з двома атомами Нітрогену двох інших пірольних кілець в площині протопорфіринового кільця. Крім цього, він бере участь в утворенні ще двох координаційних зв'язків, які розташовані перпендикулярно до площини протопорфіринового кільця.

П'ятий координаційний зв'язок атома Феруму забезпечує приєднання гема до залишку гістидину, який входить в поліпептидні ланцюги глобіну. Шостий координаційний зв'язок бере участь у приєднанні до гему різних лігандів (молекули кисню, чадного газу або інших сполук). Саме використання шостого координаційного зв'язку атома Феруму гема набуває особливого значення для оборотного приєднання молекули кисню. Процес взаємодії молекули кисню з гемоглобіном можна описати у вигляді наступного рівняння

В результаті приєднання кисню до катіону Fe2+ гему утворюється оксигемоглобін Процес утворення оксигемоглобіну супроводжується зміною конфор.мації його поліпептидних ланцюгів. Найбільш виражені зрушення відбуваються в області гема. У початковому стані в структурі дезоксигемоглобіну атом Феруму виступає за площину протопорфіринового кільця в бік залишку гістидину. При приєднанні кисню відбувається втягування атома Феруму в площину кільця. Це сприяє зміні просторової укладки поліпептидного ланцюга, пов'язаного з гемом. У результаті виникнення подібних конформаційних зрушень у молекулі оксигемоглобіну змінюється характер взаємодії поліпептидних ланцюгів один з одним. Молекула оксигемоглобіну стає більш компактною, ніж молекула дезоксигемоглобіну.

Зміна конформації поліпептидних ланцюгів при приєднанні кисню супроводжується зміною спектральних властивостей білкової молекули, а також її кольору: розчин дезоксигемоглобіну має темно-червоний, а оксигемоглобіну - яскраво-червоний колір. З цієї причини з'являються характерні відмінності в кольорі венозної (збагаченої дезоксигемоглобіном) та артеріальної (збагаченої оксигемоглобіном) крові.

Конформаційна перебудова поліпептидного ланцюга, що виникає внаслідок приєднання однієї молекули кисню до гему, сприяє різкому підвищенню спорідненості інших трьох гемів молекули гемоглобіну до кисню, полегшуючи його зв'язування.

Процес утворення оксигемоглобіну є оборотним і знаходиться під контролем численних факторів. Особливе значення з них мають H+ , CO2, Cl- та 2,3-дифосфогліцерат. При збільшенні їх концентрації різко знижується здатність гемоглобіну зв'язувати кисень.

Оксигемоглобін являє собою нестійку сполуку, яка розпадається вже при зниженні концентрації кисню в середовищі. З цієї причини, утворення оксигемоглобіну відбувається в легеневих капілярах, яким властивий високий парціальний тиск кисню. При переміщенні еритроциту з легенів в інші (периферичні) тканини внутрішніх органів, оксигемоглобін розпадається з виділенням кисню, оскільки парціальний тиск кисню в них значно менший, ніж в легенях.

Процес розпаду оксигемоглобіну зі звільненням кисню в периферичних тканинах посилюється ще й за рахунок підвищення в них концентрації H+ (нижчого, ніж в легенях рН) та збільшення вмісту вуглекислого газу. Це обумовлено інтенсивною течією в них окисно-відновних процесів, пов'язаних з тканинним диханням.

Регуляторний вплив вуглекислого газу і Н+ на зв'язування та звільнення кисню гемоглобіном пояснюється ефектом Бора. В основі механізму ефекта Бора лежить існування зворотного взаємозв'язку між процесами зв'язування кисню та звільнення Н+ гемоглобіном. Властивість гемоглобіну оборотно зв'язувати кисень та спрямовано транспортувати його від легень до тканин внутрішніх органів залежить від величини парціального тиску кисню (рО2) в навколишньому середовищі .

Наступним похідним гемоглобіну є *карбгемоглобін*, який утворюється при взаємодії Нb із вуглекислим газом. В цій сполуці СО2 приєднується не до катіону Феруму Fe2+, а до NH2-групи глобіну:

За таким способом із тканин організму до легень транспортується до 10 - 15 % СО2. Реакція зворотна - утворення карбгемоглобіну відбувається в тканинах організму, а його розпад - у легенях. Ще одним похідним гемоглобіну є карбоксигемоглобін (HbCO) - сполука гемоглобіну з чадним газом. Вона більш стійка, ніж оксигемоглобін. Тому при одночасному вдиханні суміші кисню і чадного газу в крові переважно утворюється карбоксигемоглобін:

Тобто високотоксичний чадний газ має значно більшу спорідненість до гемоглобіну, ніж кисень. Реакція утворення HbCO може перебігати зворотно тільки за умов високої концентрації кисню. Якщо в повітрі міститься від 0,05 % до 1 % СО, то 95 % гемоглобіну переходить у форму HbCO. Тяжке отруєння настає навіть тоді, коли в повітрі є 0,1 % СО.

Під дією окислювачів у гемоглобіні може відбуваватися окиснення катіону Fe2+ до катіону Fe3+ , що супроводжується утворенням метгемоглобіну (єдиний Hb, що містить катіон Fe3+). Метгемоглобін також не здатний зв’язувати і переносити кисень, тобто його фізіологічна дія аналогічна дії СО. Але незначне утворення метгемоглобіну менш небезпечне, ніж HbCO. Тому метгемоглобіноутворювачі використовують як антидоти для лікування отруєнь ціанідами. Метгемоглобін може зв’язувати до 30 % смертельної дози HCN з утворенням малотоксичної сполуки ціанметгемоглобіну. Сприяють утворенню метгемоглобіну метиленова синька, натрій нітрит та інші окисники, які здатні перетворювати катіон Fe2+ гему у катіон Fe3+, що супроводжується переходом червоного забарвлення розчину у коричневе (за умов кислої реакції).

У теперішній час для виявлення отруєнь СО або метгемоглобіноутворювачами користуються спектральним аналізом крові у видимій частині елекромагнітного випромінювання. Смуги поглинання HbO2i HbCO дуже подібні та розміщенні у жовтій та зеленій частинах спектра, але при цьому у HbCO вони зміщені в бік коротких довжин хвиль. Смуга поглинання метгемоглобіну розташована в червоній частині спектра.

Крім фізіологічних типів гемоглобіну існують і аномальні Hb, які різняться або за складом ланцюгів, або за складом амінокислотних залишків у ланцюгах. Такі аномальні гемоглобіни позначають великими літерами латинського алфавіту або за місцем, де вперше був виявлений даний дефект (HbS, HbС, HbМ тощо). Патологічні стани, що розвиваються внаслідок наявності таких форм гемоглобіну, називаються ***гемоглобінози***. За механізмом виникнення молекулярного дефекту гемоглобінози ***поділяються на гемоглобінопатії та таласемії***.

Гемоглобінопатії зазвичай пов’язані зі зміною первинної структури поліпептидних ланцюгів гемоглобіну (амінокислотні заміни, делеції або вставки). З аномальних типів гемоглобіну, що викликають гемоглобінопатії, найчастіше зустрічається серпоподібноклітинний гемоглобін (HbS), який виявлений у хворих на серпоподібноклітинну анемію. Хімічний дефект при захворюванні на серпоподібноклітинну анемію був розкритий В. Генгремом. Він полягає в заміні однієї єдиної амінокислоти, а саме глутамінової, у 6-му положенні з N-кінця β-ланцюгів молекули гемоглобіну на валін. Це результат мутації в молекулі ДНК, яка кодує синтез β-ланцюга гемоглобіну.

Інша важлива група порушень, пов’язаних з аномаліями гемоглобіну – ***таласемії (гемолітичні анемії)***. Для них характерно утворення аномальних форм гемоглобінів за рахунок зниження швидкості синтезу α-ланцюгів гемоглобіну (α-таласемії) або β-ланцюгів (β-таласемії), що призводить до анемії, яка може набувати дуже важкої форми.

***Міоглобін*** є білком, що міститься у складі клітин скелетної мускулатури. Його функція пов'язана з депонуванням кисню в м'язі. Дуже багаті на міоглобін скелетні м'язи морських тварин, що достатньо часу проводять під водою. Великий вміст міоглобіну дозволяє їм запасати значну кількість кисню і тим самим забезпечувати підтримку життєдіяльності при тривалому зануренні. Велика кількість міоглобіну міститься в червоних скелетних м'язах та міокарді людини.

Молекула міоглобіну складається з одного поліпептидного ланцюга, що містить 153 амінокислотні залишки, і пов'язаного з ним гема. Поліпептидний ланцюг має характерне глобулярне укладання в просторі. Гем розташований в гідрофобній щілині, яка утворюється в процесі формування третинної структури білкової частини молекули . Він приєднується до атома Нітрогену гістидинового залишку поліпептидного ланцюга. Стабілізація зв’язку простетичної групи та поліпептидного ланцюга відбувається за рахунок взаємодії між тетрапірольним кільцем гема і неполярними амінокислотними радикалами, що формують гідрофобну щілину.

Середній вміст міоглобіну (Mb) становить 0,3% від маси тіла і підвищується у м’язовій тканині при тривалих фізичних навантаженнях. Приблизно так, як це відбувається при утворенні оксигемоглобіну, молекула кисню оборотно приєднується до міоглобіну за рахунок виникнення шостого координаційного зв'язку. При цьому утворюється оксиміоглобін .

Міоглобін зв’язує О2 у 5 разів швидше, ніж гемоглобін і створює запас кисню у м’язах. Подібно до Hb міоглобін утворює похідні з чадним газом та ціанідами. За рахунок міоглобіну м’язи набувають червоного кольору, а сам Mb (за даними спектральних досліджень) характеризується широкою смугою поглинання при довжині хвилі 564 нм. Кількість кисню, який зв'язується з міоглобіном («відсоток насичення»), залежить від концентрації кисню в середовищі, яке безпосередньо оточує молекулу білка (цю концентрацію виражають як рО2 – парціальний тиск кисню). В умовах кисневого голодування (наприклад, у разі великого фізичного навантаження) кисень звільняється з комплексу з міоглобіном і надходить до мітохондрій м'язових клітин, де здійснюється синтез АТФ (окисне фосфорилювання).

Серед гемопротеїнів особливе місце займають **цитохроми**. Вони входять до складу ланцюгів транспорту електронів мітохондрій, ендоплазматичного ретикулума та хлоропластів. Наявність у простетичній групі (гемі) цитохромів атома Феруму (що може змінювати валентність) забезпечує їх участь в транспорті електронів між окремими переносниками цих ланцюгів. Подібно міоглобіну цитохроми містять 1 молекулу гема в розрахунку на 1 поліпептидний ланцюг.

Відомо близько 30 різних цитохромів, які за спектрами поглинання поділяються на групи a, b, c, d . Всі вони є похідними протопорфірину IX. Крім структури бічних радикалів порфіринів, цитохроми відрізняються один від одного будовою білкової частини та способом приєднання гему до білків.

В різних типах цитохромів гем по-різному з’єднується з поліпептидним ланцюгом. Наприклад, цитохроми типу с, на відміну від інших, містять міцно зв’язаний з апопротеїном гем. Він ковалентно приєднується за рахунок двох вінілових радикалів до сульфгідрильних груп цистеїнових залишків поліпептидного ланцюга Цитохром с є компонентом дихального ланцюга мітохондрій. Нижче представлено модель цитохрому с, що створена на основі детального вивчення його третинної структури .

В ендоплазматичному ретикулумі печінки міститься ще один широко розповсюджений цитохром – цитохром Р450, названий так тому, що вперше був відкритий у Філадельфії (Philadelphia), США, а комплекс його відновленої форми з СО має максимум поглинання при 450 нм. Цитохром Р450 містить протогем, подібний до цитохромів групи b, і бере участь у **знешкодженні гідрофобних чужорідних для організму молекул (ксенобіотиків).** Він є термінальним компонентом мікросомального оксигеназного ланцюга, що забезпечує окиснення ксенобіотиків. **Окремі різновиди цього цитохрому задіяні у синтезі холестеролу, стероїдних гормонів та ненасичених вищих жирних кислот**.

Окрім цитохромів, гемоглобіну та міоглобіну до гемопротеїнів належать також широко розповсюджені в тваринних та рослинних організмах ферменти **каталаза та пероксидази**, що захищають їх від пошкоджуючої дії Гідроген пероксиду (пероксиду водню).

**Каталаза** являє собою один з найбільш активних ферментів, що міститься в спеціальних внутрішньоклітинних структурах – пероксисомах.

**Пероксидази**, на відміну від каталази, окрім пероксиду водню каталізують розпад органічних пероксидів. Вони широко розповсюджені в різноманітних внутрішньоклітинних компартментах, в т.ч. в мітохондріях та цитозолі. Завершуючи розгляд гемопротеїнів, слід відзначити їх загальну властивість – всі вони мають характерний максимум поглинання світла у видимій ділянці спектра. За рахунок цього їх розчини набувають характерного забарвлення.

**Флавопротеїни**. Являють собою складні білки, до складу яких в якості простетичної групи входить похідне рибофлавіну – вітаміну В2. Рибофлавін складається з трициклічної сполуки ізоалоксазину та спирту рибітолу, звідки і походить його назва .

Флавінова простетична група може бути представлена у вигляді ФАД (флавінаденіндинуклеотиду) чи ФМН (флавінмононуклеотиду). За допомогою ковалентних зв’язків вона приєднується до поліпептидного ланцюга білка. Залишок рибофлавіну в складі простетичної групи флавінових дегідрогеназ має властивість акцептувати та віддавати атоми Гідрогену. З цієї причини флавінові дегідрогенази беруть участь у багатьох окисно-відновних процесах в клітині. Усі флавінові коферменти в окисненій формі забарвлені в жовтооранжевий колір та мають характерні смуги поглинання з максимумом у ділянках 370 та 450 нм.

Велика кількість флавінових дегідрогеназ є мембранозв’язаними білками. Вони приймають участь у транспорті електронів по дихальному ланцюгу мітохондрій та електронотранспортному ланцюгу ендоплазматичного ретикулума (НАДН-дегідрогеназа, сукцинатдегідрогеназа, НАДФНзалежний флавопротеїн мікросомального оксигеназного ланцюга та ін.).

Слід зазначити, що флавопротеїни являють собою дуже складно побудовані молекули білків. Окрім флавінової групи, вони містять й інші небілкові компоненти. Так, до структури сукцинатдегідрогенази додатково входять ще 3 FeS-центри та гем типу b. На рис. 30 представлено структуру молекули сукцинатдегідрогенази. Поряд із мембранозв’язаними зустрічаються також і розчинні флавінові дегідрогенази. Вони локалізуються в цитоплазмі клітин. До них належить широко розповсюджений фермент ксантиноксидаза (див. далі), яка містить атом Молібдену, що входить до складу молібденоптерину.

Молекула складається з 4 субодиниць: двох, що вбудовані у внутрішню мітохондріальну мембрану та двох, що звернені до мітохондріального матріксу. В якості небілкових компонентів до сукцинатдегідрогенази входять: флавінова простетична група – ФАД, 3 FeS- центри та гем типу b.

***Родопсини*** - складні білки, у яких апопротеїн (опсин) зв’язаний з простетичною групою, що представленацис-ізомером ретиналю (альдегідної форми вітаміну А).

Простетична група приєднується до залишку лізину поліпептидного ланцюга опсину, утворюючи при цьому сполуку типу шиффової основи.

Сітківка ока людини містить рецепторні клітини двох типів – палички та колбочки. Палички відрізняються великою світлочутливістю, призначені для зору при малій освітленості (забезпечують сутінковий та нічний зір), і дають чорно-білу картину. Колбочки забезпечують кольоровий і денний зір. В паличках молекула родопсину жорстко вбудована в мембрану диску фоточутливих клітин сітківки ока. Поліпептидний ланцюг опсину укладено таким чином, що він утворює 7 спіральних фрагментів, які наскрізь перетинають мембрану. При цьому залишок ретиналю опиняється в товщі мембрани.

Під впливом кванту світла видимої ділянки спектру відбувається ізомеризація 11-цис-ретиналю в транс-ретиналь. Шиффова основа лізину з даним ізомером ретиналю існувати не може. Тому родопсин розкладається на вільний опсин та транс-ретиналь, що зумовлює його участь в процесі світлосприйняття. Родопсин забарвлений у червоний колір, який йому надає цис-ретиналь. При освітленні родопсин знебарвлюється, оскільки утворюється транс-ретиналь (безбарвна сполука).

В спеціальних фоточутливих клітинах сітківки ока - колбочках, які забезпечують процес кольорового зору, присутні 3 ізомерні форми родопсину. Вони є продуктами експресії різних генів і тому відрізняються один від одного за первинною структурою поліпептидного ланцюга. Їх характерною властивістю є відмінності в максимумі спектру поглинання компонентів видимого світла – синього, зеленого та червоного .

Відмінності в максимумі спектру поглинання дозволяють ізомерним формам родопсину розкладатися під впливом кванту світла із різною довжиною хвилі, що й лежить в основі процесу кольорового світлосприйняття. Магній-порфірин (хлорофіл) – світлочутливий пігмент, який забезпечує фотосинтезуючу активність рослин

**Глікопротеїни**

До глікопротеїнів належать складні білки, що містять у своїй структурі міцно пов'язані залишки вуглеводів. Усі глікопротеїни поділяються на дві групи:

* **власне глікопротеїни** (містять до 4 % вуглеводних компонентів);
* **протеоглікани** (колишня назва мукопротеїни – містять до 90 - 95 % і− більше вуглеводних компонентів).

**Глікопротеїни** являють собою одну з найбільш поширених в живих організмах груп складних білків. До них належать деякі гормони, велика кількість мембранозв'язаних білків, а також розчинні внутрішньоклітинні білки, що знаходяться в цитоплазмі, матриксі мітохондрій, нуклеоплазмі та ін. Окремі фактори транскрипції, фактори росту *(еритропоетин)* та гормони *(тиреотропний, фолікулостимулюючий, лютеїнізуючий)* виявляють функціональні властивості тільки у формі глікопротеїнів. Більшість білків крові також являє собою глікопротеїни і серед них *імуноглобуліни*, окремі фактори *згортання крові* тощо. Глікопротеїни шлунково-кишкового тракту *(муцини)* є основою різних слизів і виконують захисну функцію, послабляючи механічне та хімічне подразнення клітин травного тракту різними факторами, що потрапляють із поживними речовинами. До біологічно активних глікопротеїнів відносяться *інтерферони*, які синтезуються в клітинах у відповідь на збудження екзогенним стимулятором; вони наділені противірусними й протипухлинними властивостями та мають клітинно- й імунорегуляторну дію.

Вуглеводний компонент глікопротеїнів може бути представлений окремими моносахаридними або олігосахаридними залишками, які мають лінійну або розгалужену структуру; при цьому, у молекулі глікопротеїну часто міститься не один, а відразу кілька олігосахаридних залишків.

До складу вуглеводного компоненту глікопротеїнів найчастіше входять моносахаридні залишки глюкози, галактози, манози, фукози, Nацетилгалактозаміну, N-ацетилглюкозаміну, а також похідні нейрамінової кислоти. Зв’язок між простетичною групою і апопротеїном в різних глікопротеїнах здійснюється через одну з трьох амінокислот: аспарагін, серин, треонін.

Існує два основних типи зв'язку між вуглеводним та білковим компонентами у глікопротеїнах. До першого з них належить О-глікозидний, а до другого – N-глікозидний зв'язок відповідно. Переважним типом зв'язку вуглеводного компонента з білковою частиною є N-глікозидний. Він виникає між С1 -ОН радикалом моносахаридного залишку та аміногрупою бокового ланцюга аспарагіну.

У формуванні О-глікозидного зв'язку між вуглеводом та білком, як правило, беруть участь включені в поліпептидний ланцюг залишки серину Приєднання вуглеводного компонента за допомогою цього типу зв'язку може відбуватися також із залишком треоніну, а в деяких білках - із залишком нестандартної амінокислоти гідроксипроліну.

Включення вуглеводного компонента до складу білка зумовлює зміну конформації його поліпептидного ланцюга, за рахунок чого він набуває нових властивостей. З одного боку, білок стає стійкішим до гідролітичної дії протеолітичних ферментів, а з другого - набуває можливості специфічної взаємодії з іншими білками і сигнальними молекулами різного роду. Останнє визначається інформацією, що закладена в самій структурі олігосахаридних ланцюгів. Оскільки глікопротеїни мають здатність специфічно приєднувати сигнальні молекули, вони відіграють важливу роль у процесі обміну інформацією між клітиною і зовнішнім середовищем. У зв'язку з цим глікопротеїни входять до складу рецепторів, розташованих на зовнішній поверхні клітинної мембрани (плазмалеми). Крім того, вони формують особливе гіллясте утворенняна клітинній мембрані - глікокалікс, яке відіграє важливу роль у забезпеченні міжклітинних взаємодій, адгезії клітин та транспорті в клітину катіонів. Одним з найбільш вивчених мембранних глікопротеїнів є глікофорин А, що у значних кількостях міститься в мембрані еритроцитів. Близько 60% маси глікофорину А становить вуглеводний компонент. Амінокислоти з гідрофобними радикалами пронизують товщу мембрани. Гідрофільна частина поліпептидного ланцюга, що містить олігосахаридні залишки, знаходиться зовні мембрани. У структурі цього білка 16 олігосахаридних ланцюгів, що містять в цілому близько 70 моносахаридних залишків. Сполучення 15 із 16 олігосахаридних ланцюгів з поліпептидним ланцюгом апобілку здійснюється за допомогою О-глікозидного зв'язку і лише 1-го - за допомогою Nглікозидного зв'язку. До складу олігосахаридних ланцюгів глікофорину А входить велика кількість сіалової кислоти, яка при рН крові існує у вигляді аніону. Внаслідок цього, негативного заряду набуває і вся гідрофільна частина поліпептидного ланцюга, що розташована над поверхнею еритроциту. Численні молекули глікофорину А надають всій мембрані еритроциту значний негативний заряд, що попереджає адгезію еритроциту з іншими клітинами крові та клітинами стінки кровоносних судин.

До представників складних білків, що містять у своєму складі вуглеводний компонент (крім глікопротеїнів), належать ще й протеоглікани. Слід зауважити, що ці білки істотно відрізняються один від одного за будовою, функціями та локалізацією в організмі тварин.

Як було зазначено вище, на частку вуглеводного компоненту в протеогліканах може припадати до 95% від загальної маси молекули. На відміну від глікопротеїнів, простетична група яких представлена олігосахаридами, до складу протеогліканів входять глікозаміноглікани (кислі мукополісахариди), що являють собою розгалужені гетерополісахаріди.

Молекула глікозаміногліканів утворена дисахаридними залишками, що повторюються. До їх складу, зазвичай, входять похідні аміногексоз (Dглюкозамін або D-галактозамін) та уронові кислоти (глюкуронова кислота, галактуронова кислота тощо). Наявність великої кількості уронових кислот в глікозаміногліканах надає їм кислі властивості та обумовлює появу вираженого негативного заряду на молекулі. До найбільш поширених глікозаміногліканів, що входять до складу протеогліканів, відносяться гіалуронова та хондроїтинсульфатна кислоти, кератансульфати, гепарин та ін.

Приєднання глікозаміногліканів до поліпептидних ланцюгів забезпечується за рахунок міцних ковалентних N- і О-глікозидних зв'язків. При цьому О-глікозидний зв'язок виникає між залишками ксилуози або Nацетилгалактозаміну та серином поліпептидних ланцюгів. N-глікозидний зв'язок у протеогліканів формується між залишками N-ацетилглюкозаміну та амідною групою аспарагіну. У сполученні глікозаміноглікану з білком, як правило, бере участь специфічний трисахаридний компонент, що містить два залишки галактози і один залишок ксилуози .

Як було зазначено вище, молекула протеоглікану має складну гіллясту структуру. Типова молекула протеоглікану складається з центрального поліпептидного ланцюга – кору (від англ. сore – серцевина, ядро), до якого приєднані різні глікозаміноглікани, переважно хондроїтинсульфати, кератансульфати. Далі, за умов взаємодії в міджклітинному матриксі сполучної тканини, утворюються складні протеогліканові комплекси з молекулою гіалуронової кислоти посередені та бічними ланцюгами протеогліканів («ялинка з ялинок»). Встановлено, що з однією молекулою гіалуронової кислоти може сполучатися до 150 молекул сульфатованих протеогліканів .

Глікозаміногліканові компоненти протеогліканів (як полівалентні аніони) зв’язують значну кількість екстрацелюлярного Na+ та, відповідно, Н2О, що зумовлює механізм участі тканинних протеогліканів у регуляції водно-сольового обміну.

Протеоглікани мають тваринне походження. Більша їх частина розташована в матриксі міжклітинної речовини. Невелика кількість може бути пов'язана із зовнішньою поверхнею клітинних мембран. Протеоглікани, які пов’язані з клітинними мембранами, відіграють важливу роль в адгезії клітин, а також прймають участь у передачі інформації до клітини ззовні. На теперішній час встановлено, що окремі протеоглікани виступають у ролі рецепторів; беруть участь у транспорті макромолекул (антитромбіну) і навіть надмолекулярних сполук (ліпопротеїнів плазми крові).

**Ліпопротеїни**

До ліпопротеїнів належать складні білки, у яких в якості небілкового компоненту виступають різноманітні ліпіди (вищі жирні кислоти, фосфоліпіди, похідні ізопрену тощо). Найбільше значення в біохімії мають ліпопротеїни, в складі яких ліпіди знаходяться в плазмі крові людини, та ліпопротеїни, що є інтегральними компонентами біологічних мембран.

Наявність у молекулі складного білка гідрофобного (ліпідного) компонента забезпечує можливість його вбудовування в ліпідний бішар клітинних мембран. До складу ліпопротеїнів мембран часто входять залишки пальмітинової або міристинової кислот. У деяких випадках обидві жирні кислоти одночасно включаються до складу одного білка. До подібних ліпопротеїнів відноситься фермент індуцибельна NO-синтаза.

Залишок міристинової кислоти зазвичай приєднується до вільної аміногрупи N-кінцевої амінокислоти поліпептидного ланцюга білка. На відміну від міристинової, пальмітинова кислота приєднується до поліпептидного ланцюга шляхом утворення тіоестерного зв'язку із залишком цистеїну. Таким чином, залишок пальмітинової кислоти входить до складу білка рецептора трансферину .

Зазвичай у структурі ліпопротеїнів виявляються похідні ізопрену, до яких, зокрема, належить лінійний терпен фарнезил . Ізопреноїди вбудовуються до складу молекули ліпопротеїну за рахунок утворення тіоестерного зв'язку із залишком цистеїну, що розташований з С-кінця поліпептидного ланцюга.

До складу деяких ліпопротеїнів входить залишок фосфоліпіду - фосфатидилінозитолу. Він сполучається з поліпептидним ланцюгом в ділянці її С-кінця, за рахунок послідовного зв’язування з N-ацетилглюкозаміном, трьома залишками манози та фосфатоетаноламіном. Подібна гліколіпідна структура утворює своєрідний якір ліпопротеїну, який жорстко фіксує його в ліпідному бішарі клітинної мембрани. В такому стані білок виявляється на її зовнішній (екстраклітинній) поверхні. Представниками подібних ліпопротеїнів є ферменти: лужна фосфатаза та 5'-нуклеотидаза.

Як вже зазначалося раніше, у більшості своїй ліпопротеїни є мембранозв'язаними білками. Ліпідний компонент дозволяє їм жорстко вбудовуватися в гідрофобний шар мембрани і тому виконувати характерну для них функцію в безпосередній близькості від неї. Зв'язування білка з мембраною збільшує його локальну концентрацію в клітині і підвищує ефективність взаємодії з іншими мембранними білками й субстратами.

У наш час активно створюються лікарські засоби, які здатні модифікувати ліпопротеїни та тим самим пригнічувати можливість їхнього приєднання до клітинних мембран. Наприклад, при введенні до організму **2- гідроксиміристинової або 2-бромпальмітинової** **кислот** відбувається глибока зміна обміну речовин в клітинах, у зв'язку з чим представляється перспективним їх використання для лікування онкологічних захворювань.

До ліпопротеїнів належать також ліпопротеїни плазми крові, які є надмолекулярними сферичними частинками, що складаються з білків і ліпідів. Між компонентами ліпопротеїнів крові відсутні міцні ковалентні зв'язки. Взаємозв'язок між білками й ліпідами в них забезпечується за рахунок сил слабких взаємодій – переважно гідрофобних, водневих та ван-дер-ваальсових зв'язків.

Значення ліпопротеїнів крові полягає в тому, що вони забезпечують транспорт гідрофобних молекул (ліпідів) в організмі людини і тварин. Як відомо, ліпіди нездатні розчинятись у полярних розчинниках і, в тому числі, в плазмі крові. Тому їх перенесення в крові можливо тільки в складі переносників - ліпопротеїнів.

Ліпопротеїнова частка має міцелярну структуру. Вона складається з гідрофільної оболонки та гідрофобного ядра .

До складу гідрофільної оболонки входять білкові молекули (апопротеїни), а також полярні групи окремих ліпідів - фосфоліпідів і холестеролу. Гідрофільна оболонка ліпопротеїнової частинки знаходиться в контакті з водою. Гідрофобне ядро утворене неполярними ліпідними молекулами - тригліцеролами, естерами холестеролу, а також неполярними функціональними групами фосфоліпідів і холестеролу. На відміну від гідрофільної оболонки, гідрофобне ядро повністю ізольовано від контакту з полярними молекулами води. За рахунок цього формується стійка у воді частинка, що має форму міцели. У її складі гідрофобні ліпідні молекули транспортуються по крові.

Ліпопротеїнові частки відрізняються одна від одної за співвідношенням ліпідів і білків, що входять до їх складу. З цієї причини вони розрізняються за щільностю та величиною електричного заряду.

За щільністю ліпопротеїни крові розподіляються на такі основні класи:

1. ліпопротеїни високої щільності (ЛПВЩ);
2. ліпопротеїни низької щільності (ЛПНЩ);
3. ліпопротеїни проміжної щільності (ЛППЩ);
4. ліпопротеїни дуже низької щільності (ЛПДНЩ);
5. хіломікрони.

Ліпопротеїни різняться також за електрофоретичною рухливістю: при рН 8,6 хіломікрони залишаються на місці нанесення, ЛПДНЩ мігрують попереду фракції β-глобулінів сироватки крові, ЛПНЩ – разом з βглобулінами, ЛПВЩ – з α-глобулінами.

Різні класи ліпопротеїнів крові переважно забезпечують транспорт окремих ліпідів в організмі людини та тварин.

Розвиток цілого ряду серцево-судинних захворювань (ішемічної хвороби серця, атеросклерозу тощо) супроводжується зміною ліпопротеїнового складу крові. Тому його вивчення відіграє важливу роль в діагностиці цих захворювань.

**Нуклеопротеїни**

До нуклеопротеїнів належать складні білки, у яких в якості небілкового компонента виступають нуклеїнові кислоти. В залежності від типу нуклеїнової кислоти, всі вони поділяються на: - рибонуклеопротеїни;

− дезоксирибонуклеопротеїни.

Нуклеопротеїни широко розповсюджені в клітині. Переважними місцями їх локалізації є ядро, цитоплазма та мітохондрії. **Роль нуклеопротеїнів зумовлюється функцією їх складових компонентів, тобто білків і нуклеїнових кислот, а саме: поділ клітин, синтез білка, збереження та передача спадкової інформації.**

Назва нуклеопротеїнів походить від лат. nucleus (ядро). Уперше вони були виділені Ф. Мішером у 1872 р. з ядер лейкоцитів.

Сполучення між нуклеїновою кислотою та білком відбувається за допомогою нековалентних зв’язків. Воно забезпечується електростатичними взаємодіями між негативно зарядженими молекулами нуклеїнових кислот та позитивно зарядженими молекулами білків.

Негативний заряд нуклеїнової кислоти зумовлюється великою кількістю залишків ортофосфатної кислоти, які формують каркасмолекули.

Білковий компонент нуклеопротеїнів у людини та тварин переважно представлений гістонами та протамінами (лужні білки з рНі = 10). Характерною особливістю їх будови є присутність в поліпептидних ланцюгах великої кількості діаміномонокарбонових кислот, до числа яких належить аргінін та лізин. Частка цих амінокислот може сягати до 25 % від маси білка.

Особливе значення серед простих білків, що входять до складу дезоксирибонуклеопротеїнів, належить гістонам. В клітинах зустрічається 5 класів цих білків. Їх представники відрізняються один від одного за вмістом амінокислотних залишків аргініну й лізину та локалізацією в нуклеосомі

При фізіологічних значеннях рН внутрішньоклітинного середовища радикали лізину та аргініну акцептують протон та набувають позитивного заряду. Внаслідок цього значного позитивного заряду набуває вся молекула гістону в цілому.

В інтерфазних клітинах, що не діляться, дезоксирибонуклеопротеїни утворють особливу ядерну субстанцію – хроматин, який містить близько 60 % білка, 35 % ДНК та 5 % РНК. Хроматин представлений хроматиновими волокнами, що утворюють особливі структури – нуклеосоми. Нуклеосоми мають форму намиста. При їх формуванні нуклеїнова кислота обмотує комплекси з 8 різноманітних гістонів - по 2 молекули гістонів Н2А, Н2В, Н3 і Н4, які формують ядро нуклеосоми – нуклеосомний кор. На цей кор майже двічі (1,75 витка) щільно намотана подвійна спіраль ДНК, довжиною близько 150 нуклеотидних пар. Між нуклеосомами розташовується лінкерна ділянка ДНК, довжиною до 50 нуклеотидних пар, яка пов'язана з гістоном Н1, що захищає ці ланки від дії нуклеаз. Утворення нуклеосом дозволяє щільно упакувати надзвичайно довгу молекулу ДНК всередині ядра клітини

В клітинних ядрах, що діляться, дезоксирибонуклеопротеїни утворюють особливі структури - хромосоми .

До складу хромосоми входять гістони та негістонові основні білки, а також одна дволанцюгова молекула ДНК. До ядра клітини кожного виду живих організмів входить певна, характерна для нього, кількість хромосом. Так, наприклад, в ядрах соматичних клітин організму людини міститься 46, щура – 38, жаби – 26 хромосом.

Рибонуклеопротеїни беруть участь в утворенні рибосом. До складу рибосом входить декілька десятків білків та декілька різновидів РНК. Комплекси рибосомальної РНК з білками формують велику і малу субчастки рибосоми, які оборотно зв'язуються разом.

З нуклеопротеїнами і, відповідно, нуклеїновими кислотами безпосередньо зв’язані такі біологічні процеси, як: мітоз, мейоз, ембріональний та злоякісний ріст тощо.

**Фосфопротеїни**

До фосфопротеїнів належать складні білки, що в якості небілкового компонента мають залишки ортофосфатної кислоти. Вони приєднуються за допомогою складноефірного зв'язку до гідроксильних груп β-оксіамінокислот: серину й треоніну, що входять до складу поліпептидного ланцюга (рис. 51А). Рівень фосфопротеїнів у клітині залежить в значній мірі від регулюючої дії ферментів, що каталізують фосфорилювання (протеїнкінази) та дефосфорилювання (протеїнфосфатази). Ці білки знаходяться в молоці, ікрі риб, жовтку курячого яйця. Велика кількість фосфопротеїнів міститься в ЦНС. Найбільш поширеним серед фосфопротеїнів є білок молока казеїн, на частку якого припадає до 80 % всіх білків молока. До складу молока казеїн входить у формі кальцієвої солі. Казеїн має порівняно невелику молекулярну масу - близько 20 кДа. Його характерною особливістю є високий вміст залишків проліну в поліпептидному ланцюзі. З цієї причини поліпептидний ланцюг казеїну при формуванні вторинної структури переважно набуває конформації, що відповідає βструктурі. Даний білок має харчове значення. Воно особливо велике в ранньому дитячому віці, коли казеїн є практично єдиним джерелом замінних і незамінних амінокислот для інтенсивно зростаючого організму дитини. У шлунку грудних дітей виробляється спеціальний фермент - ренін (хімозин), який каталізує гідролітичний розпад казеїну. Слід зауважити, що перетравлення казеїну не вимагає присутності соляної кислоти в шлунковому соку. Цей білок виявляється легко доступним для дії протеїназ, навіть у нативному (не денатурованому) стані. У процесі його розпаду утворюються біологічно активні пептиди, які мають регуляторний вплив на травну систему організму новонародженого. Крім казеїну, до фосфопротеїнів належать: вітеліни - білки яєчного жовтка, овальбумін - білок курячого яйця, іхтулін - білок ікри риб та багато інших. Розглядаючи фосфопротеїни, необхідно звернути особливу увагу на те, що багато внутрішньоклітинних білків можуть оборотно включати до свого складу залишок ортофосфатної кислоти. В якості його донора виступає молекула АТФ. Включення до складу білка кислоти (фосфорилювання білка) змінює конформацію його поліпептидного ланцюга і, як наслідок, його властивості. З цієї причини оборотне фосфорилювання внутрішньоклітинних білків виступає в якості одного із закріплених в процесі еволюції шляхів регуляції каталітичної активності ферментів, а також спорідненості рецепторних білків до їх лігандів. У зв'язку з цим фосфопротеїни надзвичайно поширені в живих організмах. Вони містять зв’язаний лабільний фосфат, який є необхідним для виконання клітиною ряду біологічних функцій. Фосфопротеїни також є цінним джерелом енергетичного та пластичного матеріалу в процесах ембріогенезу та розвитку організму.

**Металопротеїни**

До металопротеїнів належать білки, які містять атоми (іони) металів, найчастіше у вигляді складних металоорганічних комплексів (наприклад, Ферум - у складі гема, Кобальт - у складі кобаламіну тощо).

Якщо білок містить у своєму складі окремі атоми металів, то їх сполучення з амінокислотними залишками поліпептидного ланцюга відбувається за рахунок координаційних зв'язків.

Представниками металопротеїнів є такі широко поширені білки:

• феритин й трансферин, а також залізо-сірчані білки дихального ланцюга мітохондрій (містять Fe2+ );

• алкогольдегідрогеназа, РНК-полімераза й ДНК-полімераза, матриксні металопротеїнази (містять Zn2+);

• цитохромоксидаза, супероксиддисмутаза й церулоплазмін (містять Сu2+);

• ксантиноксидаза і нітрогеназа (містять Мо);

• метилмалоніл-КоА-мутаза (містить Со2+);

• Mn-супероксиддисмутаза (містить Mn2+ ) та багато інших.

Металопротеїни часто проявляють каталітичні властивості.

Вони, як правило:

• входять до активного центру фермента (його каталітичну частину) і беруть безпосередню участь у каталізі;

• забезпечують зв'язування активного центру фермента з субстратом;

• виступають у ролі донорів й акцепторів електронів в окисно-відновних реакціях. Розглянемо особливості будови деяких представників металопротеїнів. Залізо-сірчані білки дихального ланцюга мітохондрій. Включають до свого складу один або кілька атомів Феруму, пов'язаних з атомами неорганічної сірки або атомами Сульфуру, що входять до складу залишків цистеїну поліпептидного ланцюга апопротеіну .

Оскільки Ферум є металом змінної валентності, він забезпечує участь залізо-сірчаних білків в окисно-відновних процесах і, в тому числі, перенесенні електронів по дихальному ланцюгу мітохондрій.

*Феритин*. Це дуже великий за масою білок, що складається з 24 поліпептидних ланцюгів, які утворюють його окремі субодиниці . Об'єднані в спільну молекулу, субодиниці формують оболонку, що оточує центральне ядро, яке містить складний гідроксиферум(ІІ) ортофосфат. Одна молекула феритину може зв'язувати від 4000 до 5000 атомів Феруму, тому його молекулярна маса сягає 747 000 кДа.

Феритин міститься в цитоплазмі клітин ретикулоендотеліальної системи (печінка, селезінка, кістковий мозок, слизова оболонка кишечника). Він бере участь в депонуванні заліза в організмі, переважно в клітинах печінки.

Cu-Zn-супероксиддисмутаза. Являє собою фермент, який знаходиться в цитозолі клітин еукаріот. Забезпечує дисмутацію (розпад) супероксидного аніон-радикалу і, з цієї причини, захист клітини від пошкодження вільними радикалами. Сu-Zn-супероксиддисмутаза є гомодимером. Вона складається з двох ідентичних поліпептидних кожен з яких приєднує до себе по одному атому Цинка та Купруму. Атоми металів зв'язуються із залишками гістидину й аспарагінової кислоти та створюють локальний позитивний заряд в активному центрі ферменту. За рахунок цього негативно заряджена молекула субстрату (супероксид-аніону) набуває можливості сполучатися з активним центром.

Крім Cu-Zn-супероксиддисмутази, відомі інші форми цього ензиму, що містять у своєму складі інші метали. Так бактеріальна супероксиддисмутаза містить у складі атом Мангану.

**Ксантиноксидаза**. Являє собою великий білок з двома атомами Молібдену (рис. 55), 8 атомами Феруму, які формують в апопротеїні залізосірчані центри, та двома флавіновими простетичними групами (ФАД).

Атоми Молібдену формують структуру молібденоптерина, який долучається до складу каталітичної частини активного центру фермента.

Ксантиноксидаза міститься в цитоплазмі клітин і відіграє важливу роль у розпаді пуринових азотистих основ. Церулоплазмін.

**Церулоплазмін** є великим білком плазми крові, до складу якого входить Купрум, завдяки чому він має характерне блакитне забарвлення.

Церулоплазмін містить до 95 % загальної кількості атомів Купруму у крові людини та бере участь в транспорті цього металу в організмі. Молекула церулоплазміну складається з одного поліпептидного ланцюга, з яким зв’язано 4 олігосахаридних залишки та 6-7 атомів Купруму (іони Cu2+), які сполучені з залишками гістидину у складі апопротеїну

Церулоплазмін проявляє слабку каталітичну властивість. Він каталізує реакцію окиснення відновленого катіону Феруму (Fe2+) і тому набуває ще однієї назви – фероксидаза.

Згідно з сучасним уявленням церулоплазмін відіграє важливу роль в метаболізмі Феруму в організмі людини та виконує роль антиоксиданта. Крім крові, він в значній кількості міститься в тканинах внутрішніх органів та головному мозку.

Завершуючи розгляд складних білків, слід ще раз звернути увагу на їх надзвичайно широке розповсюдження в живих організмах. Це пов’язано з тим, що вони виступають в ролі ферментів, транспортних білків, рецепторів та регуляторів процесів обміну речовин. Окремі білки, частіше ферменти, можуть лише на деякий час приєднувати до себе небілковий компонент та при цьому набувати нових властивостей, необхідних для виконання їх функцій. Разом із тим, білкова частка інших складних білків міцно приєднує до себе простетичну групу одразу ж після синтезу поліпептидного ланцюга і в такому вигляді постійно присутня в клітині.

В деяких випадках молекула складного білка долучає до свого складу тільки один небілковий компонент. Разом із тим, досить часто білок містить одночасно кілька різних за хімічною структурою небілкових компонентів. До числа таких білків належать деякі флавопротеїни, ксантиноксидаза, церулоплазмін, казеїн, цитохромоксидаза та багато інших. Особливо велика кількість складних білків міститься в нервовій тканині.