

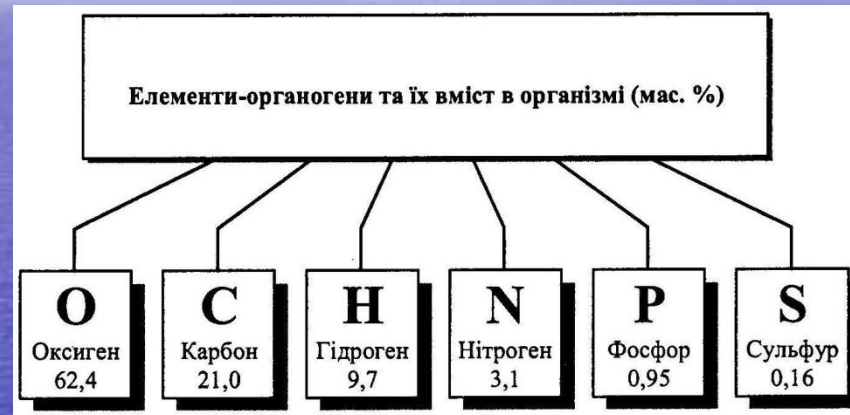
**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
БІОЕЛЕМЕНТІВ.
ЇХ РОЛЬ У
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ
ОРГАНІЗМУ**

Вміст елементів (%) у людському тілі



■ за даними S.Rilling

Елементи-органогени



- Біологічна роль хімічних елементів в організмі людини і тварин дуже багатогранна. *Елементи-органогени* є основою всіх біосистем, оскільки входять до складу білків, ферментів, вітамінів, гормонів, нуклеїнових кислот та води, яка об'єднує всі частини організму в єдине ціле.

Макроелементи

- Макроелементи виконують роль пластичного матеріалу в побудові кісткової тканини, підтримують певні значення осмотичного тиску, рН середовища біорідин, йонну та кислотно-основну рівноваги, стан колоїдних систем.

Біометал	% мас.	г/70 кг	Біометал	% мас.	г/70 кг
Кальцій Ca	1,5	1050	Цинк Zn	$2,7 \cdot 10^{-3}$	1,9
Калій K	0,35	245	Купрум Cu	$2 \cdot 10^{-4}$	0,15
Натрій Na	0,15	105	Манган Mn	$2,8 \cdot 10^{-5}$	0,02
Магній Mg	0,05	35	Кобальт Co	$4 \cdot 10^{-6}$	0,003
Ферум Fe	0,01	5	Хром Cr	$2 \cdot 10^{-6}$	0,0015

Мікроелементи

- *Мікроелементи* входять до складу великої кількості ферментів, деяких вітамінів та гормонів, беруть участь у процесах кровотворення, розмноження, росту й обміну речовин. У необхідних організму дозах та відповідних співвідношеннях вони позитивно впливають на імунну систему організму та тривалість життя. На здатності мікроелементів впливати на функціонування біосистем ґрунтується їх використання в практичній медицині та тваринництві.

- Розглянемо основні хімічні властивості та біологічну роль елементів, що входять до складу організму, використавши класифікацію їх на родини *s*-, *p*-, *d*- елементів, де за основу взято подібність у забудові зовнішніх електронних оболонок їх атомів.



S-елементи (Na, K, Ca, Mg)

- Будова атомів та хімічні властивості елементів

Будова атомів та хімічні властивості елементів 1

Біометали з родини *s*-елементів знаходяться у верхній лівій частині періодичної системи у головних підгрупах I і II групи і належать до неперехідних елементів. Вони постійно містяться в організмі тварин і людини в макрокількостях і є життєво необхідними.

Атоми цих біогенних елементів мають на зовнішньому енергетичному шарі по одному (елементи I групи) або по два електрони (елементи II групи). Загальна електронна формула $[X]ns^1$ або $[X]ns^2$, відповідно для елементів I чи II групи періодичної системи (де $[X]$ – завершений передостанній енергетичний рівень відповідного інертного елемента, n – номер періоду, до якого належить елемент).

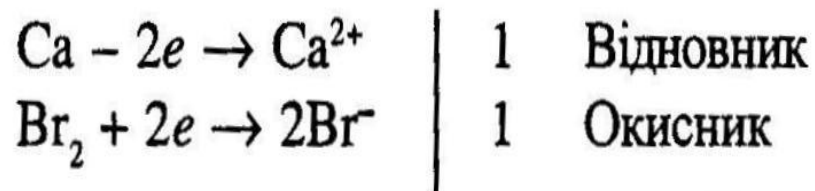
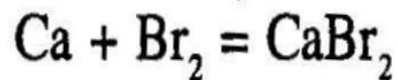
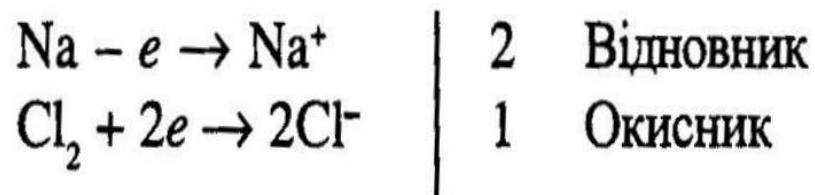
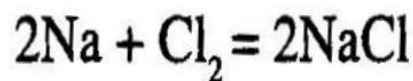
Атоми *s*-елементів легко віддають свої валентні електрони і перетворюються на позитивно заряджені йони, наприклад:



Ступінь окиснення атомів *s*-елементів, як і валентність, є постійним і дорівнює +1 для елементів I групи і +2 для елементів II групи (валентність відповідно I і II).

Будова атомів та хімічні властивості елементів 2

Віддаючи електрони, атоми цих елементів виявляють сильні відновні властивості. Це видно на прикладі їх взаємодії з неметалами – киснем, галогенами, фосфором, азотом та іншими, зокрема:



Будова атомів та хімічні властивості елементів 3

- Найхарактернішою ознакою металів головних підгруп I-II групи є їх висока хімічна активність, особливо в реакціях відновлення. Це підтверджується малими значеннями енергії йонізації атомів цих елементів та електродних потенціалів простих речовин у розчинах (табл. 1.).
- Атомні радіуси елементів у періодичній системі у напрямку зверху вниз збільшуються, а енергія йонізації атомів при цьому зменшується, що призводить до посилення металічних властивостей елементів. Тому Калій і Кальцій, порівнянно з Натрієм і Магнієм мають чіткіше виражені металічні властивості s-елементів. Це виявляється у здатності атомів легко віддавати валентні електрони, тобто легко утворювати йони; переважно в йонному стані вони й трапляються в живих організмах.

Табл. 1.

Властивості йонів s-елементів

	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
$r_{\text{йон}}, \text{нм}$	0,098	0,133	0,074	0,104
$r_{\text{гідр. йон}}, \text{нм}$	0,28	0,23	0,35	0,31
$\Delta H^0_{\text{гідр}}, \text{кДж/моль}$	-410	-335	-1667	-1569
к. ч.	4, 6	6, 8	6	6, 8

Будова атомів та хімічні властивості елементів 4

- Невеликими значеннями потенціалів йонізації пояснюють і забарвлення полум'я солями цих металів. Так, при внесенні сполуки лужного або лужноземельного металу в полум'я газового пальника елемент легко перетворюється на йон і забарвлює полум'я у відповідний колір, що відповідає його спектральній лінії збудження. Це використовують в якісному аналізі для відкриття йонів s- елементів (див. табл. 2).
- *Табл.2. Аналітичне визначення катіонів сухим способом*

Йон	Na+	K+	Ca²⁺	Ba²⁺
Забарвл. полум'я	жовте	фіолетове	червоно-цегляне	зелене

Будова атомів та хімічні властивості елементів 5

- Тенденція до утворення ковалентних зв'язків у йонів Калію і Натрію виражена дуже слабо, що пов'язано з невеликими значеннями їх електронегативностей. Тому ці йони практично не вступають у реакції комплексоутворення, а їх гідратні сполуки (аквакомплекс) типу $[\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_n]^+$, $[\text{K}(\text{H}_2\text{O})_n]^+$ з координаційним числом n 4, 6 для Na^+ і 6, 8 для K^+ є нестійкими.
- Крім того, більшість солей s-елементів I групи не утворюють кристалогідратів, особливо це стосується солей Калію. Кристалічні солі Натрію з великим числом молекул води, наприклад $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (глауберова сіль), $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (сода кристалічна), $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (бура) є своєрідними впорядкованими твердими розчинами вклинення типу сіль-лід, які називають **тектогідратами**. Вони мають структуру льоду, яка додатково стабілізується за рахунок електростатичної взаємодії йонів протилежних зарядів.
- Магній не належить до лужноземельних металів у зв'язку з тим, що властивості його сполук відрізняються від сполук інших металів II групи. Якщо магній гідроксид $\text{Mg}(\text{OH})_2$ - це малорозчинна у воді сполука і основа середньої сили, то гідроксиди інших металів II групи належать до сильних основ. При взаємодії з кислотами Магній утворює солі, що мають гіркий смак. Більшість з них добре розчиняються у воді і виділяються з розчинів у вигляді кристалогідратів, наприклад гіркої солі $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.
- Лужні і лужноземельні метали дуже подібні за хімічними властивостями, проте їх фізико-хімічні параметри дещо відрізняються.

Будова атомів та хімічні властивості елементів 6

Більшість хімічних сполук *s*-елементів II групи складається з йонів, отже вони добре розчиняються у воді. На відміну від йонів I групи, катіони Mg^{+2} і Ca^{2+} виявляють більшу тенденцію до утворення ковалентних зв'язків, особливо з атомами Нітрогену і Оксигену.

Наприклад, атом Кальцію в збудженому стані (позначено*) має два неспарених електрони і тому в сполуках виявляє ступінь окиснення +2. Проте, завдяки наявності вільних атомних орбіталей на *p*- і *d*-підрівнях, він може утворювати комплексні сполуки з координаційним числом 6 або 8.



Більшість солей Магнію у твердому стані існує у вигляді кристалогідратів: $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ та ін. Кальцій сульфат утворює дигідрат $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, який при нагріванні до 150–180 °C втрачає частину води і перетворюється на півгидрат $2CaSO_4 \cdot H_2O$ (алебастр, палений гіпс, медичний гіпс):



При змішуванні порошку паленого гіпсу з водою спостерігається затвердіння усієї маси. На цій реакції ґрунтується застосування гіпсу для виготовлення зліпків, накладання гіпсових пов'язок в хірургії та як в'язучого матеріалу в будівництві. Подібним є також механізм затвердіння цементу, що складається із силікатів та алюмосилікатів кальцію Ca_3SiO_5 , Ca_2SiO_4 , $Ca_3(AlO_3)_2$.

Біологічна роль s-елементів

- **Натрій і Калій** - дуже важливі життєво необхідні елементи, які містяться в плазмі крові, лімфі. Найбільше Калію в печінці, нирках, серці, м'язах та в мозку. Загальний вміст Калію в організмі дещо більший від Натрію (див. табл. 3).
- Основна біологічна функція розчинних у воді сполук s-елементів полягає у підтриманні водно-електролітного балансу. Катіони цих елементів істотно впливають на стан наводнення клітин та в'язкість цитоплазми. Входячи до складу електролітів крові, йони Натрію забезпечують сталу величину осмотичного тиску, а як компоненти буферних систем - підтримують на певному рівні рН біологічних рідин

Таблиця 3. *Вміст йонів у фізіологічних рідинах організму(ммоль/л)*

Катіони і аніони	Плазма крові*	Проміжна рідина*	Внутрішньоклітинна рідина
Na ⁺	142	147	35
K ⁺	5	4	115
Ca ²⁺	5	2,5	5
Mg ²⁺	2	2	27
Cl ⁻	103	114	25
HCO ₃ ⁻	27	30	10
H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	2	2	80
SO ₄ ²⁻ , HSO ₄ ⁻	1	1	20
Аніони орг. кислот	5	7,5	—
Макроіони білків	16	1	47
Σ катіонів і Σ аніонів	154	155,5	182



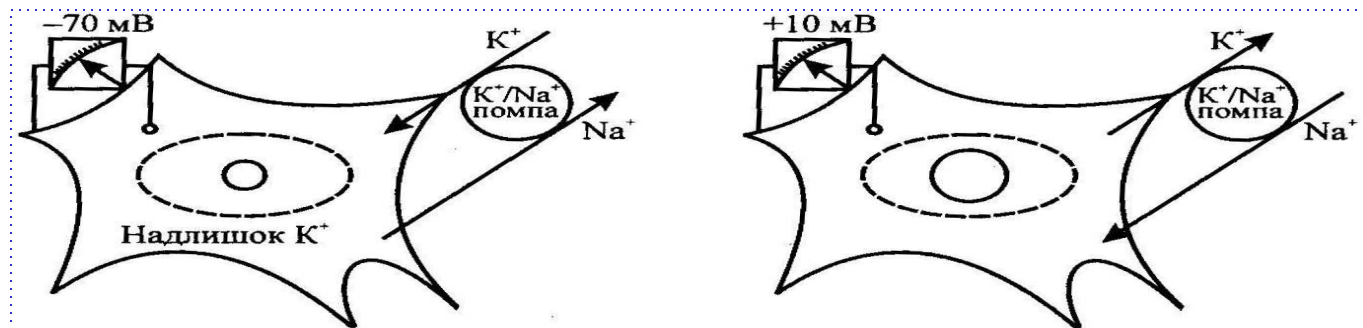
Біологічна роль s-елементів

- Йони K^+ і Na^+ необхідні живим організмам для генерування біопотенціалів у нервовій системі, м'язах та секреторній тканині, а також для регулювання роботи серцевого м'яза (міокарда). Важливо знати, що йони Натрію є основними позаклітинними йонами, а Калію K^+ - внутрішньоклітинними .
- Так, концентрація йонів K^+ всередині клітини в 35 разів вища, ніж у позаклітинній рідині, а йонів Na^+ , навпаки, - в 14 разів більша в позаклітинному середовищі, ніж всередині клітини.
- Такий нерівномірний розподіл йонів Калію і Натрію по обидва боки клітинної мембрани є причиною виникнення біопотенціалів у клітинах.
- У стані спокою різниця потенціалів (60-90 мВ) виникає внаслідок того, що йони Na^+ переходять у клітину, а йони Калію дифундують із клітини за рахунок перепаду концентрації. Внутрішня поверхня мембрани в цьому стані заряджається від'ємно, а зовнішня – додатно.

Біологічна роль s-елементів

- При збудженні змінюється проникність клітинної мембрани, і тому йони Na^+ швидше переходять всередину клітини, ніж йони K^+ на її поверхню. Це зумовлює виникнення додатного заряду всередині клітини і від'ємного назовні, тобто відбувається деполяризація (рис.1).
- За рахунок цього механізму, а також внаслідок роботи калій-натрієвої помпи, відбувається створення імпульсів у нервових клітинах та регулювання роботи серцевого м'яза. Наявність йонної помпи є головною причиною виникнення мембранних потенціалів у клітинах. При цьому йони Na^+ викачуються на поверхню клітини спеціальними системами, що здійснюють активний транспорт, а пасивно вони переносяться в клітину внаслідок градієнта, утвореного в результаті такого перенесення.

Рисунок 1. Виникнення біопотенціалів у клітині нервової системи





Біологічна роль s-елементів

- Робота калій-натрієвої помпи забезпечується енергією, що утворюється в процесі гідролізу АТФ, причому доведено, що в цій реакції також беруть участь йони Натрію і Калію, активуючи фермент АТФ-азу.
- Крім того, йони Натрію сприяють скороченню м'язів, а Калію, навпаки, - їх розслабленню. Заміна Калію чи Натрію йонами інших лужних металів викликає зміну фізіологічних функцій деяких органів. Так, введення в організм йонів Літію нормалізує діяльність головного мозку, що й використовують для лікування деяких психічних захворювань.
- Натрій хлорид, що постійно надходить в організм з їжею, є джерелом хлоридної кислоти - важливого компонента шлункового соку, а натрій гідрокарбонат NaHCO_3 разом з вуглекислим газом - буферною сумішшю, яка значною мірою підтримує кислотно-основну рівновагу організму.
- Для нормального функціонування окремих органів, зокрема роботи серця, потрібна не лише певна концентрація йонів Калію, Натрію, Кальцію і Магнію в крові, але й відповідне кількісне співвідношення цих йонів.



Біологічна роль s-елементів

- **Магній і Кальцій** порівняно з лужними металами мають більший заряд ядра, менші радіуси йонів, а також більшу спорідненість до електрона. Це сприяє утворенню координаційних зв'язків з атомами Оксигену та Нітрогену. Наприклад, з амінокислотами, ЕДТА та порфіринами, в яких донорами електронів виступають ці атоми, s²-елемент утворюють хелатні комплекси. У водних розчинах біологічних рідин йони Mg і Ca утворюють аквакомплекси з координаційним числом 6.
- У плазмі крові близько 46 % Кальцію знаходиться в йонізованому стані, а решта зв'язана з білками (альбумінами) та іншими аніонами (фосфат-, гідрогенкарбонат-, сульфат-, цитрат-іонами). Фізіологічно важливим чинником для біосистем є наявність вільного (йонізованого) Кальцію. У нормі концентрація Кальцію в плазмі крові має становити 2,12-2,62 ммоль/л (гомеостаз Кальцію). Існує стан рівноваги між концентрацією йонів Ca, що містяться в позаклітинній рідині і цитоплазмі. Градієнт концентрацій йонів Кальцію між поза- і внутрішньоклітинною рідинами є значним (становить приблизно 10000).



Біологічна роль s-елементів

- Незмінність концентрації лужних і лужноземельних металів усередині клітини і в позаклітинному просторі пов'язана зі своєрідним механізмом транспорту іонів крізь мембрани. Він здійснюється шляхом активного транспорту проти градієнту концентрацій за рахунок енергії гідролізу АТФ та шляхом дифузії іонів за градієнтом концентрацій, яка залежить від активності іонофорів.
- Йони Кальцію, що містяться в крові, посилюють її зсідання. Значне збільшення концентрації іонів Са, особливо у серцевому м'язі, негативно впливає на метаболічні процеси і може викликати руйнування клітинних структур. У зв'язку з цим у медичну практику впроваджена група лікарських засобів, так званих антагоністів Кальцію, які блокують проникнення іонів Кальцію в міокард, поліпшуючи роботу серцевого м'яза.



Біологічна роль s-елементів

- Відомо, що йони Кальцію гальмують збудження ЦНС, а тому істотне зменшення його концентрації в тканинах організму призводить до посилення збудження, аж до приступів тетанії.
- Мінеральні солі Кальцію у вигляді гідроксиапатиту та фторапатиту є основою кісткової тканини. Тому йони Кальцію впливають на ріст скелета, формування кісток, емалі зубів тощо.
- Надмірне нагромадження Кальцію в деяких органах призводить до утворення каменів, що є причиною таких захворювань, як нефролітіаз або панкреолітіаз, поліартрит, остеохондроз, катаракта.
- В організмі концентрація йонів Кальцію контролюється двома гормонами: кальцитоніном, який інгібує вивільнення Кальцію з кісткової тканини, і паратиреоїдним гормоном, що активує цей процес. Тільки спільна дія цих гормонів зберігає і підтримує на належному рівні структуру кісткової тканин, оскільки за нестачі Кальцію в крові він надходить в неї з кісткових тканин, викликаючи їх розм'якшення.



Біологічна роль s-елементів

- За своєю біологічною дією *Кальцій є фізіологічним антагоністом Магнію і Калію*. Суть цього явища полягає в тому, що подібні за розмірами і властивостями хімічні елементи можуть замінювати один одного в структурі біокомплексів. Наслідки цього процесу бувають різними. В одному випадку заміна йонів, наприклад, Mg^{2+} на Mn^{2+} або навпаки, не викликає відчутного зміщення рівноваги фізіологічних процесів. Проте в ряді випадків така заміна веде до втрати активності ферментів, руйнування важливих біоструктур. Наприклад, при заміні йонів Кальцію йонами Sr^{2+} змінюється склад і структура кісткової тканини, внаслідок чого кістки стають крихкими. Негативні наслідки для здоров'я спостерігаються і при надходженні в організм радіоактивного нукліду ^{90}Sr , оскільки він згубно діє на клітини і тканини організму.
- Крім того, йони Кальцію впливають на кислотно-основну рівновагу біологічних рідин, виявляють протизапальну та десенсибілізуючу дію. Тому його сполуки використовують як лікарські засоби.

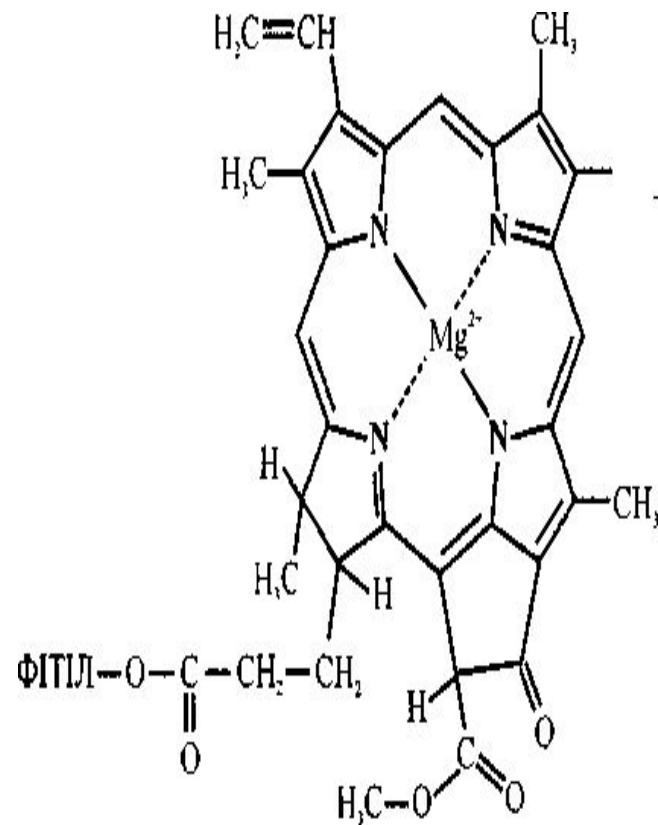


Біологічна роль s-елементів

- Додова потреба дорослої людини в сполуках Кальцію становить 1,0-1,3 г. Вона забезпечується за рахунок рослинної їжі, молока, питної води. Засвоєння Кальцію організмом залежить від наявності в ньому вітаміну D, концентрація якого регулюється гормонами щитовидної залози.
- Сполуки Магнію містяться у внутрішньоклітинних рідинах у вигляді гідратованих йонів $[Mg(H_2O)_6]^{2+}$, $[Mg(H_2O)_8]^{2+}$, а у кістках скелета та емалі зубів - у вигляді нерозчинних фосфатів. Йони Магнію входять до складу біокомплексів з нуклеїновими кислотами. У складі комплексу з АТФ, Магній активує процеси синтезу і гідролізу цієї біологічно важливої сполуки.
- Залежно від концентрації, Магній може як прискорювати, так і гальмувати процес передачі імпульсів по нервових волокнах. Він впливає на дихальні, судиннорухові та інші центри мозку і, в цілому, заспокійливо діє на нервову систему, впливає на обмін Калію і Кальцію.

Біологічна роль s-елементів

- Магній входить до складу ферментів з групи трансфераз, які прискорюють реакції перенесення різних функціональних груп від одного субстрату до іншого. Він позитивно впливає на вуглеводний та фосфорний обміни, сприяє виділенню жовчі, стимулює перистальтику кишечника.
- Багато Магнію міститься в листках рослин, куди він у формі Mg^{2+} входить до складу хелатного комплексу - хлорофілу, що за своєю структурою нагадує гем крові. Проте в молекулі хлорофілу центральним атомом є іон Mg (рис.3), а в гемоглобіні - $Fe(II)$, є й деяка відмінність у складі замісників порфіринового циклу.





Біологічна роль s-елементів

Хлорофіл бере участь у синтезі вуглеводів і кисню, зв'язуючи вуглекислий газ з повітря і воду. Цей процес дає змогу підтримувати рівновагу кисню і вуглекислого газу в довкіллі, забезпечуючи життя на Землі.

- Отже, катіони лужних і лужноземельних металів виконують важливі біохімічні функції в процесах життєдіяльності.

МЕДИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ СПОЛУК s-ЕЛЕМЕНТІВ

- У медицині здавна використовують деякі хімічні сполуки s-елементів як лікарські препарати.
- З мінеральних, або неорганічних сполук цієї родини хімічних елементів найбільш важливими є наступні:

Препарати Натрію

- Натрій хлорид NaCl застосовують для приготування ізотонічного (0,9%) та гіпертонічного (10 %) розчинів;
- натрій гідрогенкарбонат NaHCO_3 - це антацидний засіб, який використовують для нейтралізації високої кислотності шлункового соку;
- натрій тіосульфат $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ застосовують при отруєннях солями важких металів;
- натрій нітрит NaNO_2 знаходить застосування як судинорозширюючий засіб при стенокардії та спазмах судин головного мозку;
- натрій саліцилат $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COONa}$ використовують для зниження температури тіла (антипіретик).
- Є ряд інших лікарських засобів, що містять йони Натрію, проте їхня фізіологічна дія зумовлена наявністю в сполуках аніонів, наприклад: NaBr , NaI , $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]$ та ін.

Препарати Калію

- Калій бромід KBr використовують як **заспокійливий** засіб;
- калій ацетат CH_3COOK - як **сечогінний** препарат при набряках, викликаних порушеннями кровообігу;
- калій хлорид KCl в розчині використовують при деяких **серцевих захворюваннях**;
- калій оротат $C_5H_3N_2O_4K$ застосовують у комплексній терапії **серцевих захворювань**;
- калій йодид KI знаходить застосування для лікування **зобу, катаракти** .

Препарати Магнію

- Магній сульфат гептагідрат $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ застосовують як **заспокійливий** і **протисудомний** засіб для внутрішньовенного введення, а при внутрішньому вживанні - як **проносний** і **жовчогінний**;
- магній оксид MgO - це **антацидний** та **жовчогінний** препарат;
- магній карбонат основний $\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{MgCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ використовують як **антацидний** та **послаблюючий** засіб;
- калій-магній аспарагінат (панангін або аспаркам) застосовують при **серцевих захворюваннях**,
- тальк $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - для виготовлення різних **присипок** та **мазей**.

Препарати Кальцію

- Кальцій хлорид гексагідрат $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в розчинах використовують як протизапальний, протиалергічний та кровоспинний засіб;
- кальцій глюконат $(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_7)_2\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O}$ або лактат $(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO})_2\text{Ca} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ застосовують з тією самою метою, що й кальцій хлорид, проте ці препарати мають м'якший вплив на організм.

Препарати Барію

- У медичній практиці використовують малорозчинну сіль Барію ($BaSO_4$, барій сульфат) у рентгенодіагностиці шлунково-кишкового каналу, оскільки вона добре вбирає рентгенівське випромінювання і як малорозчинна речовина виводиться з організму. **Розчинні солі Барію є сильними отрутами.**

Найбільший вміст цього елемента виявлено у пігментній оболонці ока (близько 1,5 %).

У крові його концентрація становить приблизно 8-9 мкг %. Вміст Барію в крові знижується при ішемічній хворобі серця та при захворюванні органів травлення, що може служити додатковим діагностичним критерієм цих захворювань.

Доведено, що малі дози сполук Барію стимулюють діяльність кісткового мозку, але у більших кількостях вони **отруйні.**

Медицина хімія

- ПТВ 2010