

Елемент для життя й інтелекту:

історія відкриття йоду та його вплив на організм

*Цікавинки з історії існування йоду «розбирала на молекули»
Владислава Зінченко*

Уперше лікувальні властивості йоду – зменшення розміру зоба при прийомі всередину водоростей і попелу морської губки – зафіксували задовго до офіційного «дня народження» цього хімічного елемента, приблизно в 3600 році до н. е. Одна з перших згадок належить до епохи правління китайського імператора Шень-нуна (2838-2698 роки до н. е.):

в одному з трактатів він описав водорості Sargasso як надзвичайно дієві при зобі. Згодом ці природні засоби згадувались як ефективні в роботах Гіппократа, Галена, Роджера й Арнольда з Віланови.

Йод – надзвичайний за властивостями хімічний елемент – відкрив у 1811 році французький фабрикант мила та селітри Бернар Куртуа під час отримання сполук, які слугували сировиною для виробництва нітратів. Коли він випадково додав до маси сірчану кислоту (подейкують, що цьому посприяв не Бернар, а його спритна невгамовна кицька, яка хвостиком зачепила дві колби), виділилася хмаринка фіолетового кольору. Газ, що утворився, сконденсувався в темні кристали (перша візуально зафіксована поява твердого йоду).

Проте вчений припустився помилки – не визначив йод як хімічний елемент. Це згодом зробили француз Жозеф Гей-Люссак (рис. 1; він же назвав елемент «йод» від *ioeides* – фіолетовий – і встановив аналогію новачка з хлором) й англієць Гамфрі Деві.



Рис. 1. Жозеф Луї Гей-Люссак



ЦІКАВО ЗНАТИ

❶ Концентрація йоду в корі землі становить приблизно 0,3-0,5 частинки на млн (за іншими даними, $4,5 \times 10^{-1}$ мг/кг). У великій кількості його можна отримати з морської води, морських водоростей, солонуватої води. Невелику

кількість йоду добувають зі срібної руди в Мексиці та родовищ йодату натрію (NaIO_3) та періодату натрію (NaIO_4) в Чилі й Болівії. Світовим лідером із виробництва йоду є Японія.

② Йод має 37 ізотопів із відомими періодами напіврозпаду й масою від 108 до 144. ¹²⁷I – єдиний стабільний ізотоп. ¹²⁹I має найтриваліший період напіврозпаду – 15,7 млн років. ¹³¹I – радіонуклеотид із тривалим періодом існування, що використовується у виготовленні ядерної зброї, – збільшує ризик появи раку й інших захворювань щитоподібної залози.

③ Першою комерційною метою використання йоду була фотографія: в 1839 році Луї Дагер винайшов метод отримання знімків, названих дагеротипами, на тонких листках металу.

Наразі застосування йоду багатогранне: він використовується як антисептик для обробки ран; лікарський засіб у разі патології щитоподібної залози; у виробництві фарб і ліків, фотоплівок; як реагент для виконання лабораторних тестів; як таблетки для очистки води й корм для тварин; як каталізатор у промислових процесах.

④ В організмі дорослої людини міститься 10-20 мг йоду, з яких 70-80% припадає на щитоподібну залозу. Також цей елемент здатний накопичуватися в грудних залозах, очах, слизовій оболонці шлунка, шийки матки, слинних залозах.

Йод – мікроелемент, потрібний для синтезу гормонів щитоподібної залози: тироксину (T_4) та трийодтироніну (T_3), що забезпечують нормальне функціонування центральної нервової системи. На другому місці за споживанням йоду – лейкоцити. Притаманні їм дезінфікувальні функції відносно осередків запалення не можуть бути реалізовані без інтенсивної продукції ендогенних окислювачів, тобто вільних галогенокисневих радикалів, що забезпечують бактерицидну дію при фагоцитозі й екзоцитозі. Серед цих радикалів важливу роль відіграють йодиди й оксийодиди.

⑤ Уміст йоду в крові людини з вересня до січня незначно знижується, а з лютого починається його новий підйом, досягаючи максимуму в травні – червні. Ці коливання довго залишалися загадкою. Наразі ж учені висловлюють припущення, що вони пов'язані з тривалістю світлового дня. У разі скорочення світлового дня (осінь – зима) синтез тиреоїдних гормонів посилюється (відповідно, йод використовується активніше), тоді як навесні та влітку – навпаки.

⑥ Серед основних харчових джерел йоду – морепродукти (морська капуста, креветки, мідії, тріска, інша риба), меншою мірою – молочні й зернові продукти, яйця, деякі фрукти та ягоди (полуниця, журавлина).

В овочах сімейства хрестоцвітих (білокачанна, брюсельська та цвітна капуста, броколі, хрін, крес-салат) містяться такі сполуки, як тіоціанати й ізотіоціанати; вони створюють передумови для появи зоба. Продукти, до складу яких входять речовини – попередники тіоціанатів, а саме кукурудза, бобові, солодка картопля, а також тютюн, відносять до харчових «зобогенів».

⑦ Популярною стравою з надзвичайно високим умістом йоду є суп із морських їжаків – делікатес чилійської кухні.

⑧ Протягом життя тривалістю 70 років людина споживає в середньому 3-5 г йоду (приблизно 1 чайну ложку).

⑨ В Україні дефіцит йоду спостерігався наприкінці XIX – на початку XX століття на території Буковини: особливо яскраво клінічні симптоми йододефіциту, а саме кретинізму, проявлялися в мешканців гірських регіонів. Наразі ендемічними щодо зоба місцевостями вважаються Прикарпаття, Карпати, Закарпаття, Полісся.

⑩ Навіть у тварин (собак, великої рогатої худоби, кіз, птахів, риб) через дефіцит йоду може виникати зоб.



ЙОД: «ГОРДІСТЬ І УПЕРЕДЖЕННЯ» ТРИВАЛІСТІЮ В КІЛЬКА СТОЛІТЬ

Елементарний йод не несе небезпеки для організму, хоча тривалий його вплив здатний спричинити подразнення легень та очей. Організм людини чутливий до йоду та йодистих солей. Йод являє собою гаптен, під час взаємодії з білками й нуклеїновими кислотами часто викликає імунну відповідь і навіть алергію; трапляється ідіосинкразія до йоду та його препаратів.

До ознак надмірного надходження йоду / йодизму відносять безсоння, виснажливий біль у ділянці трійчастого нерва, прискорене серцебиття, підвищену збудливість, втрату ваги, лихоманку, висипання на шкірі, вугрі (йододерму), автоімунний тиреоїдит.

У разі дефіциту йоду (особливо в ембріональному й ранньому постнатальному періодах) спостерігаються зростання частоти абортів, уроджених аномалій, перинатальної смертності; затримка диференціювання кори мозку в критичній стадії її формування, сповільнення психічного розвитку аж до кретинізму, які поєднуються з іншими незворотними порушеннями нервового, психічного й соматичного розвитку.

Перші зображення людини із зобом знайдені 1215 року в м. Грац недалеко від Альп (вважають,



**Рис. 2. «Дівчина з розпущеним волоссям»
Альбрехта Дюрера**

що вік цих наскельних малюнків – близько 300 років). На існування проблеми йододefіциту вказують і шедеври живопису IX-XI століть, де також фігурують персонажі із зобом. Подібні портрети трапляються на полотнах майстрів альпійських країн, тогочасних іконах. Відзначається потовщення на шиї в героїв картин художників епохи Відродження (Яна ван Ейка, Рогіра ван дер Вейдена та ін.), пізніших робіт Пітера Пауля Рубенса, Альбрехта Дюрера (рис. 2).

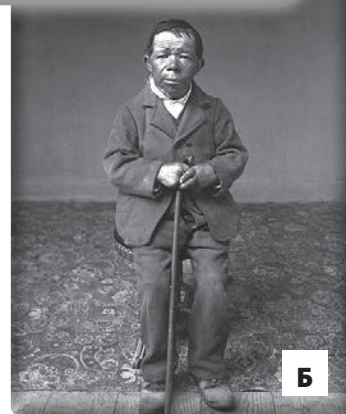
Варто зауважити, що ще в XVI столітті, задовго до відкриття йоду як хімічного елемента й докладного вивчення його властивостей, простежувався зв'язок між недостатністю мікроелемента й порушенням розумових здібностей.

Невипадково французьке слово *chretien* (кретин) походить від латинського *christianus* (християнин); його в середні віки монахи застосовували стосовно хворих на психічні розлади (синоніми: божа людина, юродивий і т. ін.). Також вони помітили нерівномірну поширеність кретинізму й закономірність, що частота хвороби серед населення підвищується прямо пропорційно висоті проживання над рівнем моря. Із цим показником корелювала й поширеність аномалій, характерних для хворих на кретинізм: товста шия (ендемичний зоб), карликовість, збільшення язика (рис. 3А, 3Б).

Пізніше встановили, що кількість йоду у воді, ґрунті та повітрі зменшується зі зростанням відстані від моря та висоти, тоді як захворюваність на кретинізм, навпаки, збільшується. Середні показники IQ у регіонах із вираженим дефіцитом йоду на 15-20% нижчі, ніж у місцевості, де не зафіксовано нестачу



**Рис. 3. Специфічні
зміни зовнішності
у хворих на кретинізм
унаслідок дефіциту
йоду**



йоду. Монахи відзначили, що при збільшенні щитоподібної залози допомагав порошок спалених морських губок. Проте через дефіцит засіб не набув популярності.

У XVIII столітті в центрі Європи, французькій Швейцарії, цілі села населяли «угодні Богу істоти», значні складнощі спостерігалися з набором вояків до армії. Вони страждали на туговухість, відставали у фізичному й розумовому розвитку. Наполеону Бонапарту довелося виконувати незвичайну місію: він став першим державним діячем, який наказав систематично оглядати щитоподібну залозу підданих на наявність зоба. Катастрофічною вважалася ситуація в кантоні Вале, де із 70 000 мешканців 4000 страждали на кретинізм.



**Рис. 4. Традиційні ляльки альпійських регіонів
Швейцарії, Австрії, Франції**

До речі, в зоні ризику перебувала не лише мальовнича гірська Швейцарія. Тогочасні мандрівники занотовували в щоденниках, що подібні відхилення спостерігалися в більшій частині населення альпійських селищ Австрії, Франції, Німеччини. Географічний характер поширення неінфекційного захворювання зумовив появу діагностичного терміна – альпійський кретинізм. Збільшений зоб був настільки звичним для місцевого населення, що його відтворювали в образах традиційних для регіону ляльок. Експонати, які збереглися, вирізняються цією ознакою (рис. 4).

«Ненормальна глуха людина із зобом, який звисає до талії», – такий опис хворого на кретинізм наведено в енциклопедії Дені Дідро, виданій у 1754 році у Франції.

У 1813 році швейцарський лікар Жан-Франсуа Куанде опублікував спостереження стосовно того, що введення йоду (у вигляді частинок у дистильованому спирті) зменшувало розмір зоба в пацієнтів. У 1852 році вперше прозвучала гіпотеза про зв'язок дефіциту йоду з ендемічним зобом; її автором став французький хімік Адольф Шатен.

Існували різні версії щодо причин патології (загалом понад 40!) і методів її лікування, проте ідея впровадження терапії на основі йоду неодноразово натрапляла на стіну скептицизму та критики населення, прагнення за рахунок хвороби уникнути призову до армії, а подекуди навіть побоювання отруїтися. Тож актуальність проблеми зберігалася.

Марк Твен у спогадах, датованих 1880-м роком, після подорожі Швейцарією резюмував: «Я побачив основні риси швейцарського пейзажу – гору Блан і зоб – і тепер вирушаю додому». До запровадження йодної профілактики поширеність кретинізму в деяких кантонах Швейцарії становила 0,5%; майже у 100% школярів спостерігався зоб; третина юнаків були визнані непридатними до військової служби (Burgi H. et al., 1990).

Врешті-решт гіпотезу Адольфа Шатена про доцільність застосування терапії йодом підтвердив Євген Бауман, котрий заявив про виявлення йоду як компонента щитоподібної залози 1896 року. Лікувальний ефект йоду при зобі та мікседемі переконливо продемонстрував Теодор Кохер, за що отримав у 1909 році почесну нагороду – Нобелівську премію.

У 1910 році австрійський психіатр Юліус Вагнер довів, що причиною альпійського кретинізму та зоба є нестача йоду в раціоні. Австрійські солевари стали авторами ідеї додавати йод у харчову сіль (за іншими літературними даними, пальма першості в цьому питанні належить французу Жану-Батісту Буссенго, що працював в Андах приблизно за 100 років до того, як виробництво йодованої солі стало на промислові рейки).



Рис. 5. Місце народження швейцарської програми йодування солі: Г. Еггенбергер і його родина йодують сіль для продажу в кантоні Аппенцель (1922 рік)

Вперше заходи з йодопротілактики (йодування солі) в Швейцарії розпочали 1922 року (рис. 5). Відтоді швейцарська програма виробництва йодованої солі діє безперервно (Zimmermann M.B., 2008). У 1923 році її прийняла Австрія, в 1929-му – гірські регіони Італії, в 1931-му – Франція, в 1937-му – Німеччина.

Хоча немає однастайності думок щодо новаторства ідеї йодування солі, позиція експертів стосовно дієвості методу непохитна. Лише через кілька років після застосування йодована сіль стала відома в усьому світі як засіб профілактики зоба та кретинізму: в альпійській місцевості Австрії та Швейцарії почали зачиняти та змінювати профіль закладів для пацієнтів із глухотою й порушеннями розумового розвитку. У 1925-1946 роках кількість непридатних до військової служби із цієї причини зменшилася від 31 на 1000 рекрутів до 1.

Важливо підкреслити, що подібні проблеми з наслідками недостатності йоду існували не тільки в Європі, а й в інших частинах світу: в Гімалаях, джунглях Центральної Африки, країнах Північної Америки. Зокрема, до 1920-х років ендемічний дефіцит йоду спостерігався в місцевості поблизу Великих озер, Аппалачів і в північно-західних регіонах США. Ця географічна зона стала відома як «зобний пояс»: у 26-70% дітей діагностували клінічно виражений зоб. Під час огляду мобілізованих на Першу світову війну лікар із Мічигану Саймон Левін помітив, що практично в кожного 3-го юнака відзначалося збільшення щитоподібної залози, яке вважалося причиною для звільнення від військової служби. Згідно з подальшими епідеміологічними дослідженнями С. Левіна поширеність зоба в деяких частинах штату Мічиган сягала 65%.

Ситуація потребувала негайного втручання. Звичайно, як і колеги з-за океану, американські лікарі здійснювали активний науковий пошук ліків «для інтелекту й щитоподібної залози».

Рятівним заходом стала програма йодної профілактики. У 1917 році американський дослідник Д. Марин отримав докази того, що використання йоду в регіонах, ендемічних щодо зоба, запобігає його появі. Він ініціював спостереження, в якому взяли участь понад 2100 школярів. Серед тих, що отримували йод, частота зоба становила лише 0,2%, тоді як серед школярів, які не вживали добавки йоду, відповідний показник перевищував 25%.

Чотири роки потому, в 1921 році, на авторитетному медичному симпозиумі вперше прозвучала пропозиція запровадити йодування солі для запобігання виникненню простого зоба. 1 травня 1924 року йодована сіль з'явилася на полицях магазинів у Мічигані (рис. 6). Рівень спротиву до її використання був настільки сильним, що початково пропонували маркувати нову сіль значком черепа та схрещених кісток, який застосовувався для ідентифікації отруту. Однак здоровий глузд і наукові аргументи все ж перемогли.

Протягом наступних 6 років рівень продажу йодованої солі суттєво зріс і співвідносився як 8:1 ящика порівняно зі звичайною; в 1932 році майже 95% продажу солі припадало на йодовану. Проте дебати про її користь і ризик не вщухали досить довго, адже неконтрольоване надмірне споживання нового продукту нерідко призводило до гіпертиреозу.

Нині збагачення солі йодом є ефективним і недорогим способом забезпечення його адекватного споживання: для цього використовуються йодат (має кращу стабільність) і йодид (калію, міді, кальцію). Стабільність йоду в солі залежить від умов навколишнього середовища й температури зберігання. Наприклад, у разі зберігання солі у відкритому



Рис. 6. Реклама першої йодованої солі Morton у США

вигляді протягом тижня вміст йоду зменшується на 14-31%, у разі 30-хвилинного кип'ятіння – на 70%.

Приблизно 120 держав світу запровадили програми йодування солі. Цікаво, що в деяких країнах заборонено виробництво солі, яка не збагачена йодом (зокрема, в Індії). Також застосовується йодування молока, борошна, цукру, приправ, соусів, олії.

Запобігти йододефіцитним захворюванням набагато легше, ніж лікувати їхні наслідки (не кажучи про незворотні, як-от розумова відсталість). Оскільки в організмі людини відсутня система накопичення йоду про запас, варто забезпечувати адекватне споживання цього мікроелемента щодня.

