

## ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

УДК 543.632.492+613.97

Геник С.М.

**Кремній - природний ключ до здоров'я**

Івано-Франківський національний медичний, Україна

**Резюме:** Кремній належить до есенціальних мікроелементів, регулярне надходження яких в організм абсолютно необхідне для його нормальної життєдіяльності. Лідерами за вмістом кремнію є лімфатичні вузли й щитоподібна залоза. Крім того, кремній міститься в сполучній тканині аорти і трахеї, сухожиллі, нервах, гіпофізі, кістці, волоссі. Кремній сприяє біосинтезу колагену, бере участь у метаболізмі 70 мінеральних солей і вітамінів, ліпідному обміні, а також у підтримці своєї рівноваги з кальцієм. При нестачі кремнію відбувається кальцинація тканин – вони втрачають пружність і еластичність.

Наночастинки кремнію мають велику активну поверхню, хімічно і термічно стабільні, добре суспензуються у водних розчинах та відносно інертні у навколишньому середовищі.

**Ключові слова:** кремній, метаболізм, пружність, еластичність, кальцій, наночастинки.

«Терапевтичній дії кремнезему належить грандіозне майбутнє» - Луї Пастер (1878)

Після кисню кремній є найпоширенішим елементом земної кори і життєво необхідним мінералом всіх живих організмів. У вигляді кремнезему ( $\text{SiO}_2$ ) кремній міститься у всіх рослинах. Твердість, еластичність і міцність стебел рослин залежить від вмісту в них кремнезему (1,8).

Кремнезем міститься в організмі морських тварин, прісноводних риб, птахів і ссавців. Він входить до складу скелетних утворень у тварин. Кремній близький за своїми властивостями до вуглецю, головним чином за здатністю утворювати біологічні ковалентні зв'язки. Багато кремнію міститься в кістках хрящових і ганоїдних риб (акул, осетрових, ската) (8).

Для людини кремній належить до есенціальних мікроелементів, регулярне надходження яких в організмі абсолютно необхідне для його нормальної життєдіяльності. В.І.Вернадський відзначав, що ніякий організм не може існувати без кремнію.

В організмі людини кремній виявлено в усіх органах і тканинах. Лідерами за вмістом кремнію є лімфатичні вузли, щитовидна залоза, сполучна тканина аорти, трахеї, сухожилля. Потім за зниженням йдуть кістки, шкіра, волосся, нирки, гіпофіз, легені, м'язи, кров (6,12). Еластичність шкіри, сухожилля, стінок судин обумовлені значною мірою вмістом в них кремнію. Він сприяє біосинтезу колагену. Його високий вміст у сполученій тканині пов'язаний з тим, що він є структурним компонентом в складі глікозаміногліканів та їх білкових комплексів, що утворюють фундамент даних тканин і дають їм міцність і пружність. Кремній необхідний для процесів осифікації, в першу чергу, для формування основної речовини кістки і хряща і безпосередньо бере участь у процесі мінералізації кісткової тканини. Встановлено, що в місцях перелому кісток при утворенні колагенових фібрил та інтенсивному клітинному розростанні вміст кремнію збільшується в 50 разів (2,8,15). Фізіологічна роль кремнію пов'язана із здатністю даного мікроелемента активувати пролінгидроксилазу (9,18).

Численні дослідження показали, що в онтогенезі людини найбільше концентрація кремнію міститься на початку розвитку плоду, а також спостерігається її поступове зниження, що дозволяє зробити висновок про важливу роль кремнію в початковому процесі онтогенезу. Зі збільшенням віку людини вміст кремнію в її організмі зменшується. Ламкість кісток в літньому віці пояснюється дефіцитом не тільки кальцію, але і кремнію. При чому, кремній сприяє формуванню кісткової тканини, незалежно від вмісту вітаміну Д. Тому він

необхідний людям будь-якого віку – від немовлят до людей похилого віку. Цей мікроелемент сприятливо діє на функцію серцево-судинної системи, стан зубів, кісток, волосся, нігтів тощо (6,8,14).

Незважаючи на широке поширення кремнію в природі, в звичайних умовах він засвоюється в організмі людини в дуже малих кількостях: тільки близько 4% від загальної кількості кремнію, що надходить у травний тракт. В організмі людини сумарно міститься від 1г до 7г кремнію (приблизно 0,001%) від живої ваги, концентрація цього елемента в крові становить 1-5 мкг/мл.

В епітелії шкіри кремній хімічно пов'язаний з кератином і разом із сіркою з'єднує мікромолекули цього білка поперечними містками, підвищуючи тим самим його хімічну і механічну стійкість, а також непроникність для рідин. У кровоносних судинах кремній зосереджений головним чином у еластині і меншою мірою в колагені, перешкоджає відкладенню ліпідів, нормалізує проникність стінок і підвищує їхню еластичність. Кремній розглядається, як біологічний «зшивний агент», який бере участь в утворенні молекулярної «архітектури» полісахаридів і їхніх комплексів із білками. Ця фракція кремнію надає еластичність сполучної тканини. Кремній забезпечує нормальний синтез основного білка сполучної тканини, внаслідок чого скріплюються окремі волокна колагену і еластину. Тому сполучна тканина стає пружною і міцною. Таким чином, нормальний рівень кремнію – необхідна умова функціонування всіх органів і систем.

Крім біосинтезу колагену, кремній бере участь в метаболізмі фосфору, в ліпідному обміні, а також підтримці взаєморівноваги з кальцієм, яке тісно пов'язане з процесом старіння організму. Участь кремнію в метаболізмі фосфоліпідів проявляється в тому, що в їхньому складі він може частково змінювати фосфор. Для правильного обміну речовин необхідне поєднання цього елемента з кальцієм і магнієм. Встановлено, що метаболізм кремнію регулюється гормональною системою (4,6,11).

Це один з елементів, що забезпечує нормальний перебіг всіх процесів в організмі людини. Так, інсульти і інфаркти настають при значенні вмісту кремнію в продуктах виділення до 1,2%, рак виникає при 1,3%, цукровий діабет – при 1,4%. За сучасними уявленнями, кремній необхідний організму для забезпечення захисних функцій, процесів обміну і дезінтоксикації (2,6,11).

Експериментально показано, що на безкремнієвій дієті тварини відстають у рості; у них погіршується стан шерсті та кісток; при додаванні кремнію до їжі вказані порушення зникають. Введення кремнію в харчовий раціон тварин прискорює ріст молодих кісток, сприяє кальцифікації і зрощування пошкоджених кісткових тканин.

Підтримка в організмі фізіологічного співвідношення кальцію і кремнію має велике значення для збереження мінерального гомеостазу. Якщо кремнію недостатньо, кальцій починає його замінювати. Кремній відповідає за еластичність, кальцій – за міцність.

При нестачі кремнію відбувається кальцинація тканин – вони втрачають пружність і еластичність. Особливо це стосується судин і зв'язок. Нестача кремнію може проявлятися порушенням імунних реакцій, зниженням еластичності тканин і тургору шкіри, підвищенням проникності судин і як наслідок геморагічними проявами. Стверджують, що понад 70% захворювань пов'язано з дефіцитом кремнію, в тому

числі коліт, гастрит, виразки слизових, остеохондроз, радикуліт, рахіт, поліартрит, діабет, атеросклероз та інші захворювання серцево-судинної системи, сечо- і жовчно-кам'яна хвороби, ендометріоз, шкірні захворювання, імунний дефіцит, доброякісні та злоякісні новоутворення, деякі інфекції та інші (3, 10, 13).

Щодня людині потрібно не менше 20-30 мг кремнію, який надходить в організм з водою, овочами та фруктами. Зменшення цієї дози теж призводить до розвитку захворювань. При цьому його концентрація в сполучних тканинах різко падає, спостерігається зниження еластичності стінок артерій одночасно із зростанням їхньої проникливості. Остання властивість призводить до проникнення ліпідів у плазму крові і до їх відкладання всередині кровоносних судин. Заміщення кремнію кальцієм робить стінки судин жорсткішими. Через нестачу кремнію холестерин не використовується організмом і накопичується в судинах.

У 1912 році німецький лікар Вільгельм Кюн встановив, що сполуки кремнію здатні перешкоджати розвитку атеросклерозу. У 1957 році французькі вчені М.Лепчер і Ік.Лепчер підтвердили цей факт, зазначивши, що у хворих атеросклерозом вміст кремнію у стінках судин нижчий, ніж у здорових людей. Ці дослідники експериментально показали, що введення в організм сполук кремнію зупиняє розвиток атеросклерозу і допомагає відновити функції стінок судин (6,8).

В організмі тварини і людини кремній присутній у трьох основних формах: неорганічні сполуки кремнію, які легко виводяться з організму; сполуки кремнію, розчинні в органічних розчинниках (орто- і олігокремнієві ефіри вуглеводів, стеринів, холіну і фосфоліпідів, в тому числі ортокремнієві ефіри сполук білкової природи); нерозчинні полімерні сполуки кремнію (олігокремнієві кислоти). Перетворення неорганічної сполуки кремнію в органічні форми відбувається в шлунково-кишковому тракті людини під дією ферменту силікази, який синтезується в шлунку і 12-палій та тонкій кишках (5,14).

Сполуки кремнію переважно нетоксичні для організму людини, однак, незважаючи на широкий перелік важливих для здоров'я властивостей, його надмірне надходження в організм також призводить до несприятливих наслідків. Потрапляння в легені пилу неорганічних сполук кремнію може викликати розвиток захворювання легенів – силікоз. Пусковим механізмом розвитку силіконових змін в легенях і інших тканинах є фагоцитоз частинок кремнезема макрофагом, загибель останніх і активація фібробластів, які запускають процеси склерозування тканин з утворенням склеротичних силіконових вузлів із зоною ексцентричного росту. Підвищене надходження кремнію в організм може призвести також до порушення фосфорно-кальцієвого обміну, розвитку сечо-кам'яної хвороби. Передозування кремнію може бути причиною силіконового дерматозу з недорозвитком придатків шкіри, силіконової оніхопатії, силіконової ангіопатії (типу синдром Марфана), силіконової аортопатії, силіконової остеопатії (6,8,14,17).

Жоден мінерал не використовується живим організмом в його природному, кристалічному стані. Перш ніж включитися в фізіологічний процес, мінеральна речовина обов'язково руйнується (розчиняється), переводиться в йонну форму. Природні реакції живого організму на мінеральні сполуки, що з ним взаємодіють – руйнування або відторгнення. В організмі діють для цих цілей бар'єрні, захисні реакції на мінеральну речовину, які й визначають характер взаємодії з мінералом (1,8).

Вміст кремнію в сироватці крові здорової людини складає  $152 \pm 9$  мкм/л. Вміст кремнію в сечі в нормі 4,5-4,7%. Один з простих діагностичних ознак недостатності кремнію в організмі – підвищена ламкість нігтів, які втрачають нормальну флюоресценцію в ультрафіолетовому світлі. При його нестачі змінюють свою структуру і щільність судини, внаслідок чого виникають захворювання серцево-судинної

системи і починаються проблеми з мозковим кровообігом.

Кремній бере участь в метаболізмі більше 70 мінеральних солей і вітамінів. При його нестачі знижується засвоєність кальцію, заліза, кобальту, цинку, натрію, марганцю, фтору і інших речовин. Таким чином порушується обмін речовин в організмі. Кремній – основний структурний елемент, що забезпечує чіткість і узгодженість керівництва роботою всіх органів з боку нервової системи. При зниженні рівня кремнію в крові зменшується еластичність судин і їх здатність відповідати на вплив мозку до розширення або звуження. В такому випадку в судинній стінці проходить заміщення кремнію кальцієм і судини стають щільними і жорсткими (3,5,15).

Кремній сприяє засвоєнню кальцію і росту кісток, попереджує остеопороз, зміцнює хрящі і сухожилля. Завдяки своїм хімічним властивостям кремній створює електрично заряджені системи. Вони мають властивість «приклеювати» на себе віруси, хвороботворні мікроорганізми, несимбіотичні з людським організмом. Вірус грипу, гепатиту, поліартриту, ревматизму, дисбактеріозу, кандиди, конідії, дріжджі та інші мікроорганізми засмоктуються в колоїдні утворення кремнію силою електричного притягування, як в крові так і в кишечнику. Для адсорбції шлаків, що поступають з кишечника, необхідні колоїди кремнію, які утворюються тільки при певній концентрації кремнію в крові і кишечнику. До нестачі кремнію в організмі призводить не лише неправильне харчування, але і паразити, що живуть в багатьох людей. Для своєї життєдіяльності паразити використовують кремній. В той же час кремній може рятувати організм від паразитів і вірусів. Для того, щоб привести вміст кремнію в організмі до нормальних показників, необхідно очистити організм від паразитів, потурбуватися про поступлення кремнію з продуктами харчування, трав'яними чаями і водою. Далі кремній сам буде сприяти очищенню від патогенних мікроорганізмів.

Під час недуг організм завжди найбільш втрачає кремній, ніж всіх інших елементів (4,5,17). Однак сучасна дієтологія не турбується про збереження кремнію в продуктах харчування. Технологія промислової переробки направлена на рафінування їжі, звільнення її від так званих баластів, внаслідок чого у відходи попадають кремній вмісні частини продуктів. Ретельно знімається природна «кремнієва оболонка» з пшениці для одержання манної крупи, яка призначається для дитячого харчування. Хлорована вода, молочні продукти з радіонуклідами, рафіновані продукти харчування – все це усуває дефіцит цього важливого елемента, його нестача починає проявлятися з перших років життя. Тим більше небезпечно, бо дітям необхідно кремнію в 5 разів більше, ніж дорослим. Якраз завдяки кремнію організм людини нормально засвоює кальцій (тим самим стимулюється ріст кісткової системи).

Доказано, що при переломах кісток нашого організму необхідно в 50 разів більше кремнію, ніж у звичайному стані. Тому при хворобах суглобів, переломах кісток важливо турбуватися не стільки про забезпечення організму кальцієм, скільки про достатню кількість в їжі кремнію.

Дія кремнію на процеси остеогенезу спрямована, в першу чергу, на синтез колагену в основній речовині. При дефіциті кремнію відбувається повна втрата основної речовини кістки регулярної трабекулярної структури, відбувається патологічні зміни у хрящовій тканині, дефекти суглобів тощо.

Кремній структурує молекули води, які набирають властивість витіснити з утворених рідинно-кристалічних решіток патогенні мікроорганізми, простіші, грибки, токсичні і чужорідні хімічні елементи. У процесі приготування кремнієвої води вони випадають в осад, який міститься в нижньому шарі води.

Кремній міститься у всіх харчових продуктах рослинного походження. Особливо його багато в лусці вівса, проса і риса.

Зерна пшениці набагато бідніші. Також більше кремнію в шкірках плодів. Не дивлячись на високий вміст кремнію в організмі морських тварин, вони не є добрим джерелом кремнію, оскільки тваринні білки гальмують його засвоєння. Тож м'ясна їжа взагалі гальмує засвоєння кремнію.

З віком вміст кремнію в організмі може знизитися, наприклад, через неправильне харчування. Такий патологічний стан характеризується різким зниженням еластичності судин через відкладання солей кальцію на їх стінках. Починають виникати такі хвороби, як стенокардія, інфаркт міокарда, кардіосклероз, аритмія серцевих скорочень, інсульт, психічне порушення, що приводить до втрати працездатності і передчасної смерті.

Порушення кремнієвого обміну в дітей призводить до анемії, остеомаліції, випадіння волосся, хвороб суглобів, туберкульозу, діабету, бешихових запалень шкіри, каменів у печінці і нирках.

На сьогоднішній день кремній привертає все більше уваги вчених всього світу, оскільки його наночастинки активно досліджують як носіїв для білкових молекул. Наночастинки кремнію мають велику активну поверхню, хімічно і термічно стабільні, добре суспензуються у водних розчинах їх відносно інертні у навколишньому середовищі. Крім того, такі наночастинки мають корисні фізичні і хімічні характеристики; кремній не сприяє розвитку мікроорганізмів, оптично прозорий, може виступати як ізолятор, захищаючи вміст капсули від навколишніх впливів (9,10,12).

Кремнієві наночастинки застосовуються у нанобіотехнологіях і медицині, особливо для нанобіосенсорики та в дослідженні різноманітних молекулярних маркерів. Такі наночастинки поєднують неорганічні та біологічні властивості. До кремнієвих наночастинок можуть приєднуватися комплекси біотин-овідин, антиген-антитіло, пептиди, білки, ДНК тощо (4,7,13,14).

Кремній бере участь у здійсненні аналізу для визначення окремих біологічних об'єктів, наприклад ДНК та антитіл. Біокон'югація кремнієвих наночастинок з молекулами ДНК/РНК надає їм унікальних біологічних функцій. Кремнієві наночастинки мають тенденції до високої люмінесценції і світлостабільності та широкий діапазон розмірів від 5 до 400 нм (17).

Наночастинки кремнію використовуються в перенесенні генів для різних типів клітин від бактерій до ссавців. В цій ролі наночастинки кремнію привертають особливу увагу завдяки своїй низькій цитотоксичності, високій трансфекційній ефективності, універсальності типів модифікацій, довшому терміні зберігання, можливості повторного використання тощо (11,16).

Сорбційні властивості нанодисперсного кремнезему такі, як термічна, біологічна, хімічна та радіаційна стійкість і однорідність забезпечують можливість його застосування у медичній практиці (7).

### Література

1. Айлер Р. Химия кремнезема. Пер. с англ. – 88. – 1988. /Р. Айлер/ -М.: Мир. – 1922. – №2: 712с.
2. Елисеєв А.А. Функциональные наноматериалы /А.А. Елисеєв, А.В. Лукашин/ М.: Физматлит. – 2010. – 456с.
3. Єрмолаєва Ю. Одержання та дослідження оптичних властивостей гетеронаночастинок «ядро-оболонка»  $\text{SiO}_2/\text{PbS}$  /Ю.Єрмолаєва, Н.Матвєєвська, О.Толмачов/ Вісник Львів УН-ТУ.

Серія фізична. 2008. В.41. – С.158-164.

4. Циттерман М. Микроэлементы в медицине. /М.Циттерман/ М.: Арнебия. – 2006- 290с.

5. Чекман І.С. Методи дослідження наночастинок /І.С.Чекман, В.О.Маланчук, А.В. Рибачук/ Науковий вісник НМУ ім. О.О.Богомольця. – 2010. – №2-3. – С.148-160.

6. Чекман І.С. Основи наномедицини /І.С.Чекман, В.О.Маланчук, А.В. Рибачук/ К.: Логос. 2011. – 248с.

7. Чуйко А.А. Адсорбционное взаимодействие высокодисперсного кремнезема с биомолекулами /А.А.Чуйко, Н.Н.Власова, Н.А.Давиденко/ Медицинская химия и клиническое применение диоксида кремния. К.: Наукова думка. – 2003. – С.116-152.

8. Ширококов В. Світ глини і здоров'я людини /В.Ширококов, Д.Янковський, Г.Димент/ Світгляд. 2012. – №2. – С.7-18.

9. Chung S.H. The synthesis of silica and silica-ceria, core-shell nanoparticles in a water-in-oil (W/O) microemulsion composed of heptane and water with the binary surfactants AOT and NP-5 / S.H.Chung, D.W.Lee, M.S.Kim// J.Colloid. Interface Sci.2011. – Vol.355. – №1. – P.70-75.

10. Fortina P. Nanobiotechnology the promise and reality of new approaches to molecular recognition /H.Fortina, L.J.Kricka, S.Surrey/ Trends Biotechnol.2005. – Vol.23. – №5. – P.168-173.

11. Knopp D. Review: Bioanalytical applications of biomolecule-functionalized nanometer-sized doped silica particles /D.Knopp, D.Tang, R.Neissner// Analitica Chimica Acta. – 2009. – №64. – P.14-30.

12. Liu S. Silica-Coated Metal Nanoparticles /S.Liu, M.Y.Han/ Chem.Asian. J. – 2009. – Vol.18. – P.1245-1249.

13. Murthy S.K. Nanoparticles in modern medicine: state of the art and future challenges /S.K. Murthy// Int.J.Nanomed.2007. – Vol.2. – P.129-141.

14. Na M. Synthesis of organic-inorganic hybrid sols with nano silica particles and organoalkoxysilanes for transparent and high-thermal-resistance coating films using sol-gel reaction /M.Na, H.Park, M.Ahn// J.Nanosci Nanotechnol. 2010. – Vol.10. – №10. – P.6992-6995.

15. Smitha S. Synthesis of biocompatible hydrophobic silica-gelatin nanohybrid by sol-gel process /S.Smitha, P.Shojesh, P.Mukundan/ / Colloids Surf B Biointerfaces. 2007. – Vol.55, №1. – P.38-43.

16. Song S. Self-assembled rosette nanotubes for incorporating hydrophobic drugs in physiological environments /S.Song, Y.Chen, Z.Yan// Int.J.Nanomedecine. 2011. – Vol.6. – P.101-107.

17. Tao Z. Mesoporosity and Functional Group Dependent Endocytosis and Cytotoxicity of Silica Nanomaterials /Z.Tao, B.B.Toms, J.Goodisman// Chem.Res.Toxicol. 2009. –Vol.21, №9. – P.13-20.

18. Wang Y. Synthesis of raspberry-like  $\text{SiO}_2$  polystyrene nanocomposite particles via miniemulsion polymerization /Y.Wang, H.Xu, H.Gu// J.Nanosci. Nanotechnol. 2009. –Vol.9, №2. – P.1571-1576.

S.M. Genyk

### Silicon as a Natural key to Health

Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

**Abstract.** Silicon is the essential trace element. Its regular flow is absolutely necessary for normal body functioning. Lymph nodes and thyroid gland are the leaders in the silicon content. Then follow the connective tissue of the aorta and trachea, tendons, nerves, pituitary gland, bone, and hair respectively. Silicon promotes collagen biosynthesis and is involved in the metabolism of 70 minerals and vitamins, lipid metabolism, and in maintaining its balance with calcium as well. In case of silicon deficiency the calcination of tissues takes place: tissues lose their firmness and elasticity. Silicon nanoparticles have a large active surface. They are chemically and thermally stable, well suspended in aqueous solutions and relatively inert in the environment.

**Keywords:** silicon, metabolism, flexibility, elasticity, calcium nanoparticles.

Надійшла 10.11.2014 року.