

DOI: 10.31793/1680-1466.2025.30-1.25

Дефіцит есенціальних елементів і вітаміну D у хворих на цукровий діабет 2-го типу

В.І. Кравченко,
О.І. Ковзун,
О.В. Раков,
К.Ю. Іваськів,
Я.Б. Кульчинська

ДУ «Інститут ендокринології та обміну речовин ім. В.П. Комісаренка НАМН України»

Резюме. Дефіцит есенціальних елементів є одним із чинників виникнення та прогресування різних хронічних захворювань, у тому числі ендокринних, зокрема цукрового діабету 2-го типу (ЦД2). Розуміння стану забезпеченості певними мікроелементами та вітамінами важливе для визначення їх патогенетичної ролі при цукровому діабеті (ЦД) та для розробки лікувально-профілактичних рекомендацій. **Мета дослідження:** з'ясувати споживання есенціальних елементів йоду (I_2), кальцію (Ca), магнію (Mg), селену (Se) і цинку (Zn), а також вітаміну D при ЦД2. **Матеріал і методи.** У відкритому контрольованому дослідженні взяли участь 71 хворий на ЦД2 (52 жінки та 14 чоловіків) віком 39-74 років. Контрольну групу становили 40 осіб без ендокринних та соматичних захворювань (30 жінок і 10 чоловіків) віком 38-74 років. У дослідження включали осіб, які не приймали харчові добавки та вітамінні препарати принаймні останні 3 місяці. Концентрацію I_2 в сечі визначали церій-арсенітним методом на спектрофотометрі «UV-1280» («Shimadzu», Японія), вміст Se в сироватці крові – флюорометричним методом після кислотної мінералізації проб на спектрофлуориметрі «MPF-4» («Hitachi», Японія), вміст Mg, Ca і 25(OH)D – на аналізаторі «Cobas 6000» («Roche Diagnostic», Швейцарія), Zn – на атомно-абсорбційному спектрофотометрі «contraAA 800 F» («Analytik Jena», Німеччина). **Результати.** У хворих на ЦД2 спостерігався дефіцит есенціальних елементів (I_2 – у 70% випадків, Ca – у 70%, Mg – у 65%, Se – у 50% і Zn – у 66%), а також вітаміну D (у 80% випадків). **Висновки.** Виявлено вірогідне зниження рівня есенціальних елементів Ca, Mg, Se і Zn у сироватці крові хворих на ЦД2. Вміст есенціальних елементів у сироватці крові хворих на ЦД2 вірогідно корелював із рівнями глюкози плазми натще (ГПН) та глікованого гемоглобіну (HbA1c).

Ключові слова: цукровий діабет 2-го типу, есенціальні елементи (I_2 , Ca, Mg, Se, Zn), вітамін D, дефіцит.

ЦД є найпоширенішим ендокринним захворюванням в етіології якого важливу роль відіграє оксидативний стрес [1, 2]. Серед факторів, що зумовлюють дію оксидативного стресу є недостача в організмі антиоксидативних речовин, серед них певне місце займають мінерали та ві-

таміни. Глобальна проблема недостатнього надходження йоду (I_2) в організм, йододефіциту, є актуальною для населення більшості країн світу, бо є причиною широкого кола патологічних станів, що отримали назву йододефіцитних [3] та охоплює всі верстви населення. У більшості

Оригінальні дослідження

країн, у тому числі всіх країн Європи, вона вирішена шляхом законодавчого призначення йодування всієї харчової солі. Загальна стратегія Всесвітньої організації охорони здоров'я в розв'язуванні цієї проблеми показує, що застосування йодованої солі зросло з 67 країн у 2003 році до 118 у 2020 році [4]. В Україні вона залишається невирішеною [5, 6]. Майже всі захворювання щитоподібної залози пов'язані з недостатнім надходженням I_2 . I_2 є важливою складовою частиною тиреоїдних гормонів та бере участь у багатьох процесах в організмі. Нещодавні дослідження показали, що з I_2 пов'язаний метаболізм глюкози, непереносність глюкози, порушенням рівня ГПН, переддіабет і ЦД [7, 8]. В Україні йодне забезпечення при ЦД2 недосліджене.

Продовжуються дослідження важливого для щитоподібної залози елемента Se в розвитку ЦД [9, 10]. Патогенез ЦД може бути пов'язаний із порушенням окисного стресу, в якому Se може відігравати важливу роль. Se необхідний для синтезу селенопротеїнів, які мають антиоксидантні й цитопротекторні властивості та можуть протидіяти виникненню ЦД2 [11].

У патогенезі ЦД2 та його ускладнень значна увага приділяється Mg, що входить як кофактор до складу майже 600 ферментів [12]. Було встановлено, що добавки Mg у харчуванні покращують чутливість до інсуліну [13], впливають на метаболізм глюкози [14], запобігають ускладненням ЦД, гальмують розвиток предіабету в ЦД [15]. Виходячи з цього, дослідники ставлять завдання про призначення препаратів Mg при гіпомагніємії у хворих на ЦД2 як первинну медико-санітарну допомогу [16]. Його споживання хворими на ЦД в Україні невідомо. Особливу роль у синтезі інсуліну, у здійсненні його ефектів і патогенезі ЦД займає Zn [17, 18]. Дослідження результатів дії добавок цього елемента неоднозначні та потребують подальшого вивчення [19].

Серед есенціальних елементів особливе місце посідає Ca. Ca відіграє важливу роль у стабільності мембрани, нормальному функціонуванні клітин, нервовій передачі, структурі кістки. Наявні дослідження показують, що зміни гомеостазу Ca пов'язані з ризиком розвитку ЦД [20]. Всі розглянуті елементи виступають як антиоксиданти та відіграють важливу захисну роль від ЦД. Важливим антиоксидантом, що відіграє суттєву захисну роль при ендокринних захво-

рюваннях, зокрема при ЦД, є також вітамін D [21, 22]. Його дослідження в комплексі з іншими елементами не проводилося.

Метою дослідження було з'ясувати споживання есенціальних I_2 , Se, Mg, Zn і Ca, а також вітаміну D при ЦД2.

Матеріал і методи

У відкрите контрольоване дослідження були включені 71 хворий на ЦД2, із них 52 жінки та 14 чоловіків віком 39-74 років, які консультовалися в лікарів-ендокринологів ДУ «Інститут ендокринології та обміну речовин ім. В.П. Комісаренка НАМН України» у 2023-2024 роках. Контрольну групу становили 40 осіб без ендокринних та соматичних захворювань – 30 жінок та 10 чоловіків віком 38-74 років. У дослідження включали пацієнтів обох груп, що не приймали харчові добавки та вітамінні препарати принаймні 3 місяці до початку дослідження.

Критерієм включення: діагноз ЦД2 відповідно до міжнародних діагностичних стандартів. У контрольну групу включали пацієнтів, які відповідали протоколу дослідження та в яких були відсутні ендокринні та соматичні захворювання.

Критерії виключення: хворі на ЦД 1-го типу, наявність тяжких ускладнень з боку серцево-судинної системи (інфаркт, інсульт), нирок (нефропатія), ураження очей (ретинопатія), відсутність підписаної інформованої згоди.

Протокол дослідження схвалено етичним комітетом ДУ «Інститут ендокринології та обміну речовин ім. В.П. Комісаренка НАМН України». Для участі в цьому дослідженні від усіх пацієнтів була отримана письмова інформована згода.

Інструментальні дослідження

Масу тіла та зріст визначали за допомогою сертифікованих електронних ваг «KERN 440-4» («Kern&Sohn», Німеччина) та портативного ростоміра. Учасники зважувалися в легкому одязі без взуття. Вага вимірювалася з точністю до 0,1 кг, зріст – із точністю до 0,5 см. Індекс маси тіла (ІМТ) розраховували шляхом ділення ваги (кг) на зріст у квадраті (m^2).

Біохімічні тести

Забір крові проводили натще відповідно до стандартної процедури забору зразків крові. Зразки крові залишали для з'ясування на 20 хв при кімнатній температурі. Після центрифугу-

гування при 3000 об/хв протягом 10 хв, зразки сироватки відокремлювали та зберігали при -20°C до аналізу.

Дослідження вмісту Se в сироватці крові проводили флуориметричним методом після кислотної мінералізації проб сироватки крові на спектрофлуориметрі «MPF-4» («Hitachi», Японія) при довжині хвилі збудження 366 нм та флуоресценції 520 нм [25], Mg, Ca і 25(OH)D – колориметричним методом на аналізаторі «Cobas 6000» («Roshe Diagnostic», Швейцарія), Zn у сироватці – на атомно-абсорбційному спектрофотометрі «contrAA 800 F» («Analytik Jena», Німеччина). Референтні значення становили: Se – 60-120 мкг/л, Mg – 16,37-26,54 мг/л, Ca – 2,15-2,5 ммоль/л, 25(OH) D – 30-50 нг/мл (ризик недостатності <30 нг/мл, ризик дефіциту <10 нг/мл), Zn – 70-150 мкг/дл.

У всіх учасників дослідження були зібрані зразки сечі та зберігали їх до дослідження концентрації I_2 при -40°C . Концентрацію I_2 в сечі визначали церій-арсенітним методом Dunn [23] на спектрофотометрі «UV-1280» («Shimadzu», Японія). Результати дослідження трактували згідно з критеріями ВООЗ [24]. Дослідження йодурії проходять зовнішній контроль якості в Центрі по контролю і профілактиці захворювань (Center for Disease Control and Prevention, Атланта, США).

Результати та обговорення

Серед обстежених на ЦД2 жінки становили 70,3%, у контрольній групі – 67,5%. Більшість обстежених пацієнтів, 65,0%, мали вперше виявлений ЦД. Решта пацієнтів мали тривалість

Таблиця 1. Показники антропометричні, йодурії, есенціальних елементів і глюкози в обстежених групах

Table 1. Anthropometric indicators, ioduria, essential elements, and glucose parameters in the studied groups

Параметри Parameters	Референтні значення Reference values	Контроль Control (n=40)	ЦД2 T2DM (n=71)	p
Вік, роки * Age, years *	-	53,33±1,386	56,44±1,037	0,075
Зріст, см * Height, cm *	-	170,03±1,118	170,04±1,257	0,993
Вага, кг * Weight, kg *	-	82,20±1,74	90,35±2,19	0,012
ІМТ ** BMI **	-	28,54 (25,50-30,88)	30,07 (26,78-33,75)	0,018
ГПН ммоль/л ** FPG mmol/L **	3,3-5,5 ммоль/л 3,3-5,5 mmol/L	5,06 (4,73-5,50)	8,50 (7,65-10,07)	<0,001
HbA1c, % **	4,5-5,6 %	5,10 (4,65-5,61)	7,30 (6,50-8,20)	<0,001
I_2 сечі, мкг/л ** I_2 urine, $\mu\text{g/L}$ **	100-200 мкг/л 100-200 $\mu\text{g/L}$	79,40 (59,65-113,55)	79,00 (68,00-97,00)	0,913
Se, мкг/л ** Se, $\mu\text{g/L}$ **	60-120 мкг/л 60-120 $\mu\text{g/L}$	75,45 (68,75-86,17)	58,75 (34,37-77,25)	<0,001
Mg, мг/л ** Mg, mg/L **	16,37-28,5 мг/л 16,37-28,5 mg/L	17,37 (16,27-19,10)	15,49 (14,38-16,66)	<0,001
Zn, мкг/дл ** Zn, $\mu\text{g/dL}$ **	70-150 мкг/дл 70-150 $\mu\text{g/dL}$	82,70 (78,61-91,17)	67,40 (62,50-70,40)	<0,001
Ca, ммоль/л ** Ca, mmol/L **	2,15-2,5 ммоль/л 2,15-2,5 mmol/L	2,26 (2,18-2,32)	1,98 (1,85-2,20)	<0,001
25(OH)D, нг/мл ** 25(OH)D, ng/mL **	30-50 нг/мл 30-50 ng/mL	26,35 (23,25-30,00)	24,00 (18,50-28,50)	0,037

Примітка. Характеристики розподілу представлені: нормального (*) – як середнє значення та стандартна помилка, анормального (**) – як медіани і квартилі (Q1–Q3). Середні значення порівнюються за t-критерієм Стьюдента, медіани – за U-критерієм Манна–Уїтні, номінальні дані – за критерієм хі-квадрат. p – ЦД2 порівняно з контролем.

Note. Distribution characteristics are presented: normal (*) – as mean value and standard error, abnormal (**) – as medians and quartiles (Q1–Q3). Means values are compared by Student's t-test and medians – by Mann–Whitney U-test, nominal data – by chi-square test. p – T2D compared with control.

Оригінальні дослідження

захворювання не більше 5 років. Рівень ГПН хворих становив від 6,6 до 13,4 ммоль/л і вказував на наявність ЦД. Рівень HbA1c у пацієнтів коливався від 6,5 до 11,4%. Вік хворих становив 39-74 років. Клінічна картина відповідала ЦД 2-го типу. Враховуючи невеликий розмір груп, для поліпшення статистичної обробки та в подальшому розрахунку кореляцій створена додаткова група, що включала всіх обстежених контрольної групи та хворих на ЦД. За віковими показниками група на ЦД майже не відрізнялася від загальної та контрольної групи. Зовсім не було відмінностей за ростовими показниками, однак вага хворих на ЦД була статистично вищою ніж у контролі. Похідний показник від зросту та маси тіла ІМТ також був вищим при ЦД. Рівень глюкози при ЦД свідчив за наявність захворювання і був значно вищим ніж у контролі ($p > 0,001$) (табл. 1). З високою вірогідністю ($p < 0,001$) концентрація Se, Mg, Zn і Ca була

знижена при ЦД. Також при ЦД була знижена концентрація 25(OH) D (вітаміну D) у сироватці крові.

Зміни показників вмісту елементів у сироватці крові хворих на ЦД2 порівняно з контролем могли бути пов'язані з маніфестацією захворювання та з основними показниками ГПН та HbA1c. Для перевірки такої можливості ми провели кореляційний аналіз між показниками глюкози в крові та есенціальними елементами в контрольній групі, групі хворих із ЦД та окремо з кожним елементом в об'єднаній загальній групі. Вірогідна негативна кореляція в групі хворих із ЦД спостерігалася між ГПН та окремо з кожним елементом, за винятком I_2 в сечі в групі контролю – тільки між ГПН і Mg (табл. 2). Відповідні результати показали високу вірогідність між показником ГПН та Se, Zn, Ca. Такі ж результати високої вірогідності кореляції вказаних елементів спостерігалися стосовно показника HbA1c.

Таблиця 2. Кореляції між показниками ГПН, HbA1c і рівнями есенціальних елементів в обстежених групах

Table 2. Correlations between fasting blood glucose, HbA1c and essential elements levels in the studied groups

Кореляції між показниками Correlations between indicators	Загальна група General group (n=111)		Контроль Control (n=40)		ЦД2 T2DM (n=71)	
	r	p	r	p	r	p
ГПН\ІМТ FPG\BMI	0,219*	0,032	0,667	<0,001	-0,013	0,924
ГПН\I ₂ FPG\I ₂	-0,071	0,491	0,045	0,784	-0,223	0,099
ГПН\Se FPG\Se	-0,461	<0,001	-0,041	0,804	-0,613	<0,001
ГПН\Zn FPG\Zn	-0,626	<0,001	0,182	0,262	-0,734	<0,001
ГПН\Ca FPG\Ca	-0,677	<0,001	-0,138	0,422	-0,565	<0,001
ГПН\Mg FPG\Mg	-0,453	<0,001	-0,328	0,039	-0,247	0,072
ГПН\25(OH)D FPG\25(OH)D	-0,218	0,048	0,040	0,815	-0,136	0,361
HbA1c\ІМТ HbA1c\BMI	0,086	0,396	-0,032	0,869	-0,237	0,049
HbA1c\I ₂	-0,166	0,109	-0,227	0,236	-0,222	0,074
HbA1c\Mg	-0,422	<0,001	-0,103	0,596	-0,160	0,211
HbA1c\Se	-0,471	<0,001	-0,216	0,261	-0,430	<0,001
HbA1c\Zn	-0,690	<0,001	0,155	0,422	-0,684	<0,001
HbA1c\Ca	-0,663	<0,001	0,245	0,237	-0,619	<0,001
HbA1c\25(OH)D HbA1c\25(OH)D	-0,259*	0,023	0,059	0,780	-0,144	0,307

Примітка. Коефіцієнт кореляції та достовірність розподілу результатів розраховані: аномального – за Спірменом, нормального – за Пірсоном.

Note. Correlation coefficient and reliability for distribution of results were calculated: abnormal – according to Spearman, normal – according to Pearson.

Зв'язок між показником ГПН і I₂ сечі при ЦД був невіргодний.

Враховуючи виявлені кореляції, продовжили аналіз зв'язків між есенціальними елементами в їх дії при ЦД. Такі достовірні зв'язки встановлені між I₂, Zn і Ca, між Se, Zn і Ca, між Mg і Zn, Ca і Zn (табл. 3). I₂ і Se часто взаємодіють у своїх ефектах, особливо це стосується щитоподібної залози. Є повідомлення про зв'язок між патологією ЩЗ і ЦД та про роль йодного забезпечення при захворюванні [7, 8]. У нашому дослідженні вірогідного зв'язку між цими елементами при ЦД2 не виявлено.

Таблиця 3. Кореляція есенціальних елементів у групі хворих на ЦД2 за Спірменом

Table 3. Correlation of essential elements in the group of patients with T2DM according to Spearman

Параметри Parameters	Коефіцієнти по Спірмену Spearman coefficients		95% довірчі інтервали 95% confidence intervals	
	r	p	верхній upper	нижній lower
I ₂ \ ІМТ	0,089	0,475	-0,162	0,329
I ₂ \ Se	0,125	0,334	-0,137	0,370
I ₂ \ Mg	0,096	0,458	-0,165	0,344
I ₂ \ Zn	0,333	0,038	0,010	0,593
I ₂ \ Ca	0,338	0,022	0,044	0,578
Ca \ ІМТ	-0,073	0,629	-0,364	0,230
Mg \ ІМТ	-0,193	0,126	0,425	0,062
Mg \ Zn	0,438	0,005	0,133	0,667
Mg \ Ca	,0171	0,260	-0,1370	0,450
Se \ ІМТ	-0,074	0,552	-0,317	0,178
Se \ Mg	0,100	0,449	-0,167	0,354
Se \ Zn	0,619	<,001	0,368	0,785
Se \ Ca	0,426	0,003	0,146	0,643
Zn \ ІМТ	-0,067	0,684	-0,383	0,263
Zn \ Ca	0,449	0,004	0,146	0,675

Для з'ясування ефектів елементів при ЦД2, та визначення їх відмінності та винятковості у хворих проведений аналіз їх кореляцій у контролі. Цікаво, що в контролі I₂ проявляв кореляцію крім з ІМТ, із показниками Zn і Ca, і як очікувалося, високу кореляцію з Se, спостерігалася кореляція з Zn та Ca (табл. 4). Mg проявляв від'ємну кореляцію з Ca та ІМТ. Zn мав від'ємну кореляцію з ІМТ.

Отримані при порівнянні дані в контролі та при ЦД, а також результати кореляцій показали залежність рівня ГПН та HbA1c від есенціальних елементів, тому було важливим з'ясувати крім

абсолютних показників вмісту елементів у сироватці крові частоту дефіциту елементів, виходячи з референтних значень (табл. 5). Найбільш значний дефіцит у хворих на ЦД спостерігався щодо Se, Mg, Ca і Zn. Привертає до себе увагу наявність більшої частоти низьких значень I₂ у хворих на ЦД2, хоча в цілому медіанне значення I₂ при ЦД2 не в такій мірі, як інші елементи, відрізнялося від цього показника в контролі.

Таблиця 4. Кореляція есенціальних елементів у контролі за Спірменом

Table 4. Correlation of essential elements in control according to Spearman

Параметри Parameters	Коефіцієнти по Спірмену Spearman coefficients		95% довірчі інтервали 95% confidence intervals	
	r	p	верхній upper	нижній lower
I ₂ \ ІМТ	-0,261	0,007	-0,437	-0,067
I ₂ \ Se	-0,471	<0,001	-0,619	-0,291
I ₂ \ Zn	0,349	0,002	0,132	0,534
I ₂ \ Ca	0,267	0,016	0,045	0,464
Ca \ ІМТ	-0,086	0,389	-0,281	0,116
Mg \ ІМТ	-0,663	<0,001	-0,779	-0,503
Mg \ Ca	-0,690	<0,001	-0,800	-0,536
Se \ ІМТ	-0,166	0,109	-0,361	0,043
Se \ Mg	-0,076	0,440	-0,268	0,122
Se \ Zn	-0,086	0,389	-0,281	0,116
Se \ Ca	0,102	0,372	-0,129	0,322
Zn \ ІМТ	-0,471	<0,001	-0,619	-0,291
Zn \ Ca	-0,067	0,550	-0,286	0,159

Таблиця 5. Дефіцит забезпечення есенціальними елементами та вітаміном D в обстежених групах

Table 5. Deficiency of essential elements and vitamin D in patients in the studied groups

Параметри Parameters	Частота значень елементів нижче мінімального референтного Frequency of element values is the minimum reference value		
	Контроль Control	ЦД2 T2DM	p
I ₂	65,00±7,54	89,60±4,83	0,05
Ca	25,00±7,22	72,34±6,52	0,001
Mg	27,50±7,06	64,06±6,10	0,001
Se	17,50±6,01	50,00±6,15	0,001
Zn	7,50±4,16	66,67±7,55	0,001
25(OH)D	75,00±7,22	84,62±5,0	0,42

вивчення макро- і мікроелементів привертає увагу фахівців у зв'язку з тим, що вони є складовою частиною біологічних тканин і їх виключ-

Оригінальні дослідження

ною регуляторною участю в багатьох процесах і реакціях в організмі. Мінімальний вміст в організмі займають I_2 та Se. Але за своєю значущістю вони не поступаються перед іншими елементами. Поєднання цих елементів гарантує підтримку щитоподібної залози в здоровому стані в синтезі тиреоїдних гормонів. Публікації останніх років показують, що ці елементи мають важливе значення і при ЦД. У наших дослідженнях на відміну від деяких опублікованих [7, 8] йодне забезпечення хворих при ЦД не змінювалося, йодурія в сечі хворих не відрізнялася від цього показника в контролі та відповідала легкому ступеню йодного дефіциту. Розбіжність наших даних з іншими публікаціями, можливо, пояснюється тим, що в тих дослідженнях вивчався зв'язок між високим йодним забезпеченням та ЦД, у наших дослідженнях мав місце йодний дефіцит легкого ступеня. Проте, враховуючи наявність йододефіциту у хворих на ЦД та наявні публікації про позитивний вплив I_2 на обмін глюкози, ми можемо рекомендувати компенсацію йодної недостатності для хворих. У цьому відношенні в Україні найбільш раціональним було б запровадження масової йодної профілактики шляхом йодування харчової солі.

Відносно Se у всіх групах, порівняно з контролем спостерігали високо вірогідне ($p < 0,001$) зниження вмісту елемента в сироватці крові. У дослідженнях NHANES вищий статус Se був бонусом для зниження смертності загалом від усіх причин [26]. Збільшення рівня Se призводило до послаблення запалення, резистентності до інсуліну, поліпшення ліпідного стану [27]. Дія Se на метаболічні показники й кров'яний тиск залежала від концентрації елемента в плазмі крові і мала U-подібний характер. Найкращий ефект був при концентрації Se в плазмі 93,7 мкг/л, нижче і вище цього рівня негативні ризики зростали [28]. Виходячи з цих даних, у профілактиці селенодефіциту треба намагатися дотримуватися рівня Se в сироватці крові у хворих на ЦД2 близько 100 мкг/л.

При вивченні патогенезу ЦД значна увага надається таким есенціальним елементам як Mg, Zn, Ca. Mg і Zn є кофакторами понад 300 ферментів і входять до їх складу, крім того, Mg і Ca завдяки своїй іонній формі регулюють надходження іонів і речовин в різні клітини організму [15, 16, 18-21]. У нашому дослідженні брали участь пацієнти з початковою стадією захворю-

вання та за відсутності серйозних ускладнень. Встановлено високовірогідне зниження рівня цих елементів у сироватці крові хворих на ЦД2, їх кореляцію з ГПН, HbA1c, значні вірогідні ризики їх впливу на HbA1c. Це диктує необхідність застосування відповідних комплексних препаратів для поліпшення стану хворих. Значної уваги в патогенезі ЦД надається вітаміну D. У наших дослідженнях рівень 25(OH)D у сироватці крові при ЦД2 був зниженим, але ми не знайшли вірогідної кореляції між цим показником та рівнем ГПН, або HbA1c, не було суттєвого впливу на вище означений показник.

Висновки

1. У хворих на ЦД2 спостерігався дефіцит есенціальних елементів (I_2 – у 70% випадків, Ca – у 70%, Mg – у 65%, Se – у 50% і Zn – у 66%), а також вітаміну D (у 80% випадків).
2. Вміст есенціальних елементів у сироватці крові хворих на ЦД2 вірогідно корелював із рівнями ГПН та HbA1c.

Список використаної літератури

1. Ježek P, Jabůrek M, Plecítá-Hlavatá L. Contribution of oxidative stress and impaired biogenesis of pancreatic β -cells to type 2 diabetes. *Antioxid Redox Signal*. 2019 Oct 1;31(10):722-51. doi: 10.1089/ars.2018.7656.
2. Lenzen S. Chemistry and biology of reactive species with special reference to the antioxidative defence status in pancreatic β -cells. *Biochim Biophys Acta Gen Subj*. 2017 Aug;1861(8):1929-42. doi: 10.1016/j.bbagen.2017.05.013.
3. Hetzel BS, Pandav CS. S.O.S. for a billion. The conquest of iodine deficiency disorders. Delhi: Oxford University Press; 1994. 285 p.
4. Zimmermann MB, Andersson M. Global endocrinology: global perspectives in endocrinology: coverage of iodized salt programs and iodine status in 2020. *Eur J Endocrinol*. 2021 Jun 10;185(1):R13-21. doi: 10.1530/EJE-21-0171.
5. Тронько МД, Кравченко ВІ. Профілактика йодозалежних захворювань в Україні (огляд літератури). *Довкілля та здоров'я*. 2019;(2):65-9 (Tronko MD, Kravchenko VI. Prevention of iodine-dependent diseases in Ukraine (literary review). *Environment & Health*. 2019;(2):65-9. Ukrainian). doi: 10.32402/dovkil2019.02.065.
6. Тронько МД, Кравченко ВІ, Бондар ТВ. Дослідження йодної забезпеченості населення України в межах проекту Steps «Вивчення поширеності факторів ризику неінфекційних захворювань» Всесвітньої організації охорони здоров'я. *Ендокринологія*. 2022;27(3):203-13 (Tronko MD, Kravchenko VI, Bondar TV. Study of iodine supply in the population of Ukraine within the framework of the steps project «Study of the prevalence of risk factors for non-infectious diseases» of the World Health Organization. *Endokrynologia*. 2022;27(3):203-13. Ukrainian). doi: 10.31793/1680-1466.2022.27-3.203.
7. Wang D, Wan S, Liu P, Meng F, Zhang X, Ren B, et al. Relationship between excess iodine, thyroid function, blood pressure, and blood glucose level in adults, pregnant women, and lactating women: a cross-sectional study. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2021 Jan 15;208:111706. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111706.

8. Chen C, Chen Y, Zhai H, Xia F, Han B, Zhang W, et al. Iodine nutrition status and its association with microvascular complications in urban dwellers with type 2 diabetes. *Nutr Metab*. 2020 Aug 17;17:70. doi: 10.1186/s12986-020-00493-5.
9. Cheng Z, Li Y, Young JL, Cheng N, Yang C, Papandonatos GD, et al. Long-term association of serum selenium levels and the diabetes risk: Findings from a case-control study nested in the prospective Jinchang Cohort. *Sci Total Environ*. 2022 Apr 20;818:151848. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151848.
10. Ma XM, Li KX, Chen ZQ, Wu CM, Liao WZ, Guo XG. Impact of age, sex, and thyroid autoimmunity on the association between selenium intake and type 2 diabetes mellitus. *BMC Public Health*. 2024 Mar 8;24(1):743. doi: 10.1186/s12889-024-18225-2.
11. Wei J, Zeng C, Gong QY, Yang HB, Li XX, Lei GH, et al. The association between dietary selenium intake and diabetes: a cross-sectional study among middle-aged and older adults. *Nutr J*. 2015 Feb 18;14:18. doi: 10.1186/s12937-015-0007-2.
12. Caspi R, Altman T, Dreher K, Fulcher CA, Subhrawati P, Keseler IM, et al. The MetaCyc database of metabolic pathways and enzymes and the BioCyc collection of pathway/genome databases. *Nucleic Acids Res*. 2012 Jan;40(Database issue):D742-53. doi: 10.1093/nar/gkr1014.
13. Simental-Mendía LE, Sahebkar A, Rodríguez-Morán M, Guerrero-Romero F. A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials on the effects of magnesium supplementation on insulin sensitivity and glucose control. *Pharmacol. Res*. 2016 Sep;111:272-82. doi: 10.1016/j.phrs.2016.06.019.
14. Nadler JL, Buchanan T, Natarajan R, Antonipillai I, Bergman R, Rude R. Magnesium deficiency produces insulin resistance and increased thromboxane synthesis. *Hypertension*. 1993 Jun;21(6 Pt 2):1024-9. doi: 10.1161/01.hyp.21.6.1024.
15. Hruba A, Meigs JB, O'Donnell CJ, Jacques PF, McKeown NM. Higher magnesium intake reduces risk of impaired glucose and insulin metabolism and progression from prediabetes to diabetes in middle-aged americans. *Diabetes Care*. 2014 Feb;37(2):419-27. doi: 10.2337/dc13-1397.
16. Waanders F, Dullaart RPF, Vos MJ, Hendriks SH, van Goor H, Bilo HJG, et al. Hypomagnesaemia and its determinants in a contemporary primary care cohort of persons with type 2 diabetes. *Endocrine*. 2020 Jan;67(1):80-6. doi: 10.1007/s12020-019-02116-3.
17. Jansen J, Karges W, Rink L. Zinc and diabetes – clinical links and molecular mechanisms. *J Nutr Biochem*. 2009 Jun;20(6):399-417. doi: 10.1016/j.jnutbio.2009.01.009.
18. Fernández-Cao JC, Warthon-Medina M, H Moran V, Arija V, Doepping C, Serra-Majem L, et al. Zinc intake and status and risk of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients*. 2019 May 8;11(5):1027. doi: 10.3390/nu11051027.
19. El Dib R, Gameiro OL, Ogata MS, Mólolo NS, Braz LG, Jorge EC, et al. Zinc supplementation for the prevention of type 2 diabetes mellitus in adults with insulin resistance. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015 May 28;2015(5):CD005525. doi: 10.1002/14651858.CD005525.pub3.
20. Kim MK, Kim G, Jang EH, Kwon HS, Baek KH, Oh KW, et al. Altered calcium homeostasis is correlated with the presence of metabolic syndrome and diabetes in middle-aged and elderly Korean subjects: the Chungju Metabolic Disease Cohort study (CMC study). *Atherosclerosis*. 2010 Oct;212(2):674-81. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2010.07.005.
21. Cheng L, Lv C, Xue L, Zhang C, Wang L, Wang X, et al. The prevention and improvement effects of vitamin D on type 2 diabetes mellitus: evidence from an umbrella review on Meta-analyses of cohort studies and randomized controlled trials. *Front Nutr*. 2024 Oct 25;11:1462535. doi: 10.3389/fnut.2024.1462535.
22. Sim G, Kim Y, Lee SM, Hahn J, Kim J. Role of vitamin D in prevention of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Exp Ther Med*. 2024 Oct 8;28(6):451. doi: 10.3892/etm.2024.12741.
23. Dunn JT, Grutchfield HE, Gutekunst R, Dunn AD. Methods for measuring iodine in urine. International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders. Netherlands; 1993. 71 p.
24. World Health Organization. Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination: a guide for programme managers. 3rd ed. Geneva: WHO Press; 2007. 97 p.
25. Watkinson JH. Semi-automated fluorimetric determination of nanogram quantities of selenium in biological material. *Anal Chim Acta*. 1979 Mar 01;105:319-25. doi: 10.1016/S0003-2670(01)83763-6.
26. Hoque B, Shi Z. Association between selenium intake, diabetes and mortality in adults: findings from National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2003-2014. *Br J Nutr*. 2022 Apr 14;127(7):1098-105. doi: 10.1017/S000711452100177X.
27. Wang XL, Yang TB, Wei J, Lei GH, Zeng C. Association between serum selenium level and type 2 diabetes mellitus: a non-linear dose-response meta-analysis of observational studies. *Nutr J*. 2016 May 4;15(1):48. doi: 10.1186/s12937-016-0169-6.
28. Zhou L, Luo C, Yin J, Zhu Y, Li P, Chen S, et al. Diverse associations of plasma selenium concentrations and SELENOP gene polymorphism with metabolic syndrome and its components. *Oxid Med Cell Longev*. 2020 Apr 22;2020:5343014. doi: 10.1155/2020/5343014.

Список скорочень

- ГПН – глюкоза плазми натще
 ІМТ – індекс маси тіла
 ЦД – цукровий діабет
 ЦД2 – цукровий діабет 2-го типу
 Са – кальцій
 НbА1с – глікований гемоглобін
 I₂ – йод
 Mg – магній
 Se – селен
 Zn – цинк

Deficiency of essential elements and vitamin D in patients with type 2 diabetes

V.I. Kravchenko, O.I. Kovzun, O.V. Rakov, K.Yu. Ivaskiv, Ya.B. Kulchynska

State Institution «V.P. Komisarenko Institute of Endocrinology and Metabolism of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine»

Abstract. Deficiency of essential elements is one of the factors for the occurrence and progression of various chronic diseases, including endocrine diseases, in particular type 2 diabetes mellitus (DM2). Understanding the state of provision of certain microelements and vitamins is important for determining their pathogenetic role in diabetes mellitus (DM) and for developing treatment and preventive recommendations. **The aim:** to determine the consumption of essential elements iodine (I₂), selenium (Se), magnesium (Mg), zinc (Zn), calcium (Ca), as well as vitamin D in T2D. **Material and methods.** The open-label controlled study involved 71 patients with T2D (52 women and 14 men) aged 39-74 years. The control group consisted of 40 people without endocrine and somatic diseases (30 women and 10 men) aged 38-74 years. The study included people who had not taken food supplements and vitamin preparations for at least 3 months before the start of the study. The concentration of I₂ in urine was determined by the cerium-arsenite method on a «UV-1280» spectrophotometer («Shimadzu», Japan), the Se content in blood serum was determined by the fluorometric method after acid mineralization of samples on a «MPF-4» spectrofluorometer («Hitachi», Japan), the content of Mg, Ca and 25(OH)D was determined

Оригінальні дослідження

on a «Cobas 6000» analyzer («Roche Diagnostic», Switzerland), Zn was determined on an atomic absorption spectrophotometer using a «ContrAA 800F», «Analytik Jena», Germany). **Results.** In patients with T2D, a deficiency of essential elements was observed (I_2 – in 70% of cases, Ca – in 70%, Mg – in 65%, Se – in 50% and Zn – in 66%), as well as vitamin D (in 80% of cases). **Conclusions.** A significant decrease in the level of essential elements Ca, Mg, Se and Zn in the blood serum of patients with T2D was revealed. The content of essential elements in the blood serum of patients with T2D significantly correlated with the levels of fasting plasma glucose (FPG) and glycated hemoglobin (HbA1c).

Keywords: type 2 diabetes mellitus, essential elements (I_2 , Se, Mg, Zn, Ca), vitamin D, deficiency.

Для цитування: Кравченко ВІ, Ковзун ОІ, Раков ОВ, Іваськів КЮ, Кульчинська ЯБ. Дефіцит есенціальних елементів і вітаміну D у хворих на цукровий діабет 2-го типу. Ендокринологія. 2025;30(1):25-32. DOI: 10.31793/1680-1466.2025.30-1.25.

Адреса для листування: Кравченко Віктор Іванович; endocrinolog@ukr.net; ДУ «Інститут ендокринології та обміну речовин ім. В.П. Комісаренка НАМН України», вул. Вишгородська, 69, Київ 04114, Україна.

Відомості про авторів: Кравченко Віктор Іванович, д-р мед. наук, проф., завідувач відділу епідеміології ендокринних захворювань, ORCID-0000-0003-0867; Ковзун Олена Ігорівна, д-рка біол. наук, проф., чл.-кор. НАМН України, заступниця директора Інституту з наукової роботи, ORCID: 0000-0002-6906-6636; Раков Олег Віталієвич, лікар поліклінічного відділу, ORCID 0000-0002-0563-3961; Іваськів Катерина Юріївна, канд. мед. наук, старша наукова співробітниця відділу консультативної профілактичної допомоги хворим з ендокринними захворюваннями, ORCID 0000-0003-1680-4663; Кульчинська Ярослава Богданівна, програміст відділу епідеміології ендокринних захворювань, ORCID 0000-0009-8818-6826.

Особистий внесок: Кравченко В.І. – ідея дослідження, проведення досліджень елементів, аналіз результатів, написання статті, оформлення, підготовка до друку; Ковзун О.І. – участь у розробці концепції статті, підбір та аналіз літературних джерел; Раков О.В. – збір та формування груп хворих для обстеження, зв'язок із лабораторіями для дослідження біохімічних показників у хворих; Іваськів К.Ю. – участь у формуванні контрольної групи та групи хворих на ЦД для аналізу результатів елементного забезпечення; Кульчинська Я.Б. – математичний аналіз отриманих результатів.

Фінансування: дослідження проводилось у рамках бюджетного фінансування за планом науково-дослідної роботи «Оптимізувати та впровадити діагностичні, терапевтичні та профілактичні алгоритми надання медичної допомоги хворим із цукровим діабетом на тлі системних стрес-індукованих ендокринної та імунної сис-

тем, зумовлених воєнними діями» відділу епідеміології ендокринних захворювань ДУ «Інститут ендокринології та обміну речовин ім. В.П. Комісаренка НАМН України» (№ державної реєстрації 0123U100933).

Декларація з етики: автори задекларували відсутність конфлікту інтересів і фінансових зобов'язань.

Стаття: надійшла до редакції 13.12.2024 р.; перероблена 03.02.2025 р.; прийнята до друку 05.03.2025 р.; надрукована 30.03.2025 р.

For citation: Kravchenko VI, Kovzun OI, Rakov OV, Ivaskiv KYu, Kulchynska YaB. Deficiency of essential elements and vitamin D in patients with type 2 diabetes. Endokrynologia. 2025;30(1):25-32. DOI: 10.31793/1680-1466.2025.30-1.25.

Correspondence address: Kravchenko Victor Ivanovych; endocrinolog@ukr.net; State Institution «V.P. Komisarenko Institute of Endocrinology and Metabolism of the NAMS of Ukraine», Vyshgorodska Str., 69, Kyiv 04114, Ukraine.

Information about the authors: Kravchenko Viktor Ivanovych, Dr. Sci. (Medicine), Prof., Head of the Department of Epidemiology of Endocrine Diseases, ORCID-0000-0003-0867-2023; Kovzun Olena Ihorivna, Dr. Sci. (Biology), Prof., Corresponding Member of the NAMS of Ukraine, Deputy Director of the Institute, ORCID: 0000-0002-6906-6636; Rakov Oleh Vitaliiovich, Doctor of the Outpatient Department, ORCID 0000-0002-0563-3961; Ivaskiv Kateryna Yurievna, Cand. Sci. (Medicine), Senior Research Fellow of the Department of Consultative Preventive Care for Patients with Endocrine Diseases, ORCID 0000-0003-1680-4663; Kulchynska Yaroslava Bogdanivna, Programmer of the Department of Epidemiology of Endocrine Diseases, ORCID 0000-0009-8818-6826.

Personal contribution: Kravchenko V.I. – is the idea of the study, conducting element studies, analyzing the results, writing the article, preparing the design for publication; Kovzun O.I. – participation in the development of the concept of the article, selection and analysis of literary sources; Rakov O.V. – collection and formation of groups of patients for examination, communication with laboratories for the study of biochemical indicators in patients; Ivaskiv K.Yu. – participation in the formation of a control group and a group of patients with diabetes for the analysis of the results of elemental supply; Kulchytyska Ya.B. – mathematical analysis of the results obtained.

Funding: the study was conducted within the framework of budget financing according to the plan of scientific and research works «To optimize and implement diagnostic, therapeutic and preventive algorithms for providing medical care to patients with diabetes mellitus against the background of systemic stress-induced endocrine and immune systems caused by military actions» of the Department of Epidemiology of Endocrine Diseases of the SI «V.P. Komisarenko of Endocrinology and Metabolism of the NAMS of Ukraine» (state registration number 0123U100933).

Declaration of ethics: the authors declared the absence of a conflict of interest and financial obligations

Article: received December 13, 2024; revised February 03, 2025; accepted March 05, 2025; published March 30, 2025.