







Н.М. Онул^{1*}, 
Г.М. Юнтунен², 
В.В. Родіонова¹, 
Е.М. Білецька¹, 
М.Ю. Поліон¹, 
О.А. Туренко³ 

БІОМОНІТОРИНГ ТОКСИЧНИХ ТА ПОТЕНЦІЙНО ТОКСИЧНИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У СЕЧІ МЕШКАНЦІВ ПРОМИСЛОВОГО РЕГІОНУ

Дніпровський державний медичний університет¹
вул. Володимира Вернадського, 9, Дніпро, 49044, Україна
КП «Дніпропетровська обласна станція переливання крові»²
пр. Богдана Хмельницького, 17, Дніпро, 49000, Україна
КНП «Міська клінічна лікарня № 4» Дніпровської міської ради³
вул. Близня, 31, Дніпро, 49102, Україна
Dnipro State Medical University¹
Volodymyra Vernadskoho str., 9, Dnipro, 49044, Ukraine
CE "Dnipropetrovsk Regional Blood Transfusion Station"²,
Bohdan Khmelnytskyi ave., 17, Dnipro, 49000, Ukraine
CNCE "City Clinical Hospital No.4" Dnipro City Council³
Blyzhnia str., 31, Dnipro, 49102, Ukraine
*e-mail: sangreena_@ukr.net

Цитування: Медичні перспективи. 2025. Т. 30, № 1. С. 166-173

Cited: Medicini perspektivi. 2025;30(1):166-173

Ключові слова: важкі метали, мікроелементи, біосубстрати, сеча, біомоніторинг, промисловий регіон, дисбаланс

Key words: heavy metals, trace elements, biosubstrates, urine, biomonitoring, industrial region, imbalance

Реферат. Біомоніторинг токсичних та потенційно токсичних мікроелементів у сечі мешканців промислового регіону. Онул Н.М., Юнтунен Г.М., Родіонова В.В., Білецька Е.М., Поліон М.Ю., Туренко О.А. Проблема впливу важких металів довкілля на організм людини є надзвичайно актуальною. При цьому вивчення мікроелементного статусу за впливу об'єктів довкілля та при різних патологічних процесах в організмі з використанням сучасних методів біомоніторингу все частіше використовується як інструмент для оцінювання ризику, інформування про ризики та ухвалення рішень щодо управління ризиками для громадського здоров'я. Метою роботи було визначити концентрацію та статеві-вікові особливості вмісту токсичних і потенційно токсичних мікроелементів з групи важких металів у сечі клінічно здорових мешканців промислового регіону та при захворюваннях нирок. Для реалізації поставленої мети проведено визначення вмісту алюмінію, свинцю, барію, кадмію та стронцію в сечі 108 мешканців Дніпропетровської області – клінічно здорових осіб та хворих на пієлонефрит впродовж 2022–2024 рр. Дослідження вмісту мікроелементів проводили методом атомно-емісійної спектроскопії на атомно-емісійному спектрометрі з індуктивно зв'язаною плазмою. Установлено, що вміст ксенобіотиків у сечі досліджуваного контингенту коливається в широкому діапазоні залежно від виду металу. Концентрація кадмію в сечі мешканців регіону відповідає референтним значенням, однак перевищує їх за вмістом алюмінію, барію, свинцю та стронцію. Вміст таких ксенобіотиків, як свинець, кадмій та барій, в 1,4–14,2 рази вище даних досліджень, проведених на території еколого-геохімічного оптимуму за максимальними та середніми показниками, що свідчить про техногенність їх походження. В організмі чоловіків концентрації барію, кадмію, свинцю та стронцію в сечі достовірно вищі порівняно з жінками за нижчих значень алюмінію. Розвиток захворювань сечовидільної системи супроводжується та може посилюватися на тлі мікроелементного дисбалансу, що проявляється достовірним збільшенням в 1,4–1,7 рази концентрації алюмінію та кадмію за зниження вмісту барію. При захворюваннях нирок адаптація організму визначалася як стадія напруження й була пов'язана з тривалістю захворювання. Отримані результати є важливим підґрунтям для подальшої розробки національної бази референтних значень вмісту мікроелементів у біосередовищах організму людини при проведенні біомоніторингових досліджень для своєчасної діагностики мікроелементного дисгомеостазу та впровадження комплексу заходів з покращення громадського здоров'я.

Abstract. Biomonitoring of toxic and potentially toxic trace elements in the urine of residents of an industrial region. Onul N.M., Yuntunen H.M., Rodionova V.V., Biletska E.M., Polion M.Iu., Turenko O.A. The problem of the influence of environmental heavy metals on the human body is extremely relevant. At the same time, the study of trace element status under the influence of environment and during various pathological processes in the body using modern

biomonitoring methods is increasingly used as a tool for risk assessment, risk communication and decision-making on public health risk management. The purpose of the work was to determine the concentration and gender-age characteristics of the content of toxic and potentially toxic trace elements from the group of heavy metals in the urine of clinically healthy residents of the industrial region and patients with pyelonephritis. To achieve the goal, the content of toxic and potentially toxic trace elements – aluminum, lead, barium, cadmium and strontium - was determined in the urine of 108 residents of the Dnipropetrovsk region - clinically healthy individuals and patients with pyelonephritis during 2022-2024. It was established that the content of toxic and potentially toxic metals in the urine of conditionally "healthy" residents of the industrial region fluctuates in a wide range, cadmium concentration in the urine of the inhabitants of the region corresponds to the reference values, however it exceeds them in terms of aluminum, barium, lead and strontium content. The content of such xenobiotics as lead, cadmium and barium is 1.4-14.2 times higher than the data of studies conducted in the territory of the ecological-geochemical optimum according to the maximum and average indicators, which indicates their technogenic origin. Concentrations of barium, cadmium, lead, and strontium in urine of men is higher than in women, with lower levels of aluminum. The development of diseases of the urinary system is accompanied and may be aggravated by microelement imbalance, which is manifested by a significant increase in the concentration of aluminum and cadmium by 1.4-1.7 times with a decrease in the content of barium. During kidney diseases development adaptation of the organism was defined as a stage of tension and was related to the duration of the disease. The obtained results are an important basis for the further development of the national base of reference values for microelements content in the biosubstrates during biomonitoring for the timely diagnosis of microelement dyshomeostasis and the implementation of a set of measures to improve public health.

Останніми роками зростає глобальна стурбованість громадським здоров'ям, пов'язана із забрудненням навколишнього середовища важкими металами (ВМ) [1, 2]. На сьогоднішній день ВМ розглядаються переважно не з хімічної, а з медичної та природоохоронної точок зору і, таким чином, при включенні в цю категорію враховуються не тільки хімічні й фізичні властивості елементів, але й біологічна активність та токсичність [3]. Адже значна частина ВМ є надзвичайно токсичною навіть у мінімальних кількостях, а кумулятивний характер їх накопичення та міграції в усіх без винятку середовищах довкілля та організмі призводить до того, що з кожним роком зростає їх вплив на довкілля та організм людини [4, 5].

Особливо небезпечними серед усіх ВМ є токсичні та потенційно токсичні мікроелементи (МЕ) [6, 7]. Вони характеризуються гострими і хронічними токсичними ефектами впливу на різні органи тіла. Надмірна доза ВМ в організмі може призвести до структурних змін клітини безпосередньо через вплив на органічні компоненти або опосередковано через утворення активних форм кисню, викликаючи широкий спектр захворювань, включаючи злоякісні новоутворення, захворювання серцево-судинної, респіраторної, сечовидільної систем, органів шлунково-кишкового тракту, ендокринні розлади тощо [1, 4].

Важливу роль у процесах виведення ВМ з організму відіграють нирки, а відтак вивчення впливу токсичних та потенційно токсичних металів саме на сечовидільну систему має важливе значення, особливо для встановлених нефротоксикантів – кадмію та свинцю, дія яких навіть за низьких концентрацій зумовлює підвищений ризик розвитку захворювань нирок, зокрема хронічної хвороби нирок [6, 8]. При

цьому одночасний вплив двох або більше металів може мати кумулятивний ефект [1, 2] та потенціювати негативний вплив.

Техніка біомоніторингу людини (БМЛ) на сьогоднішній день використовується для аналізу та моніторингу сукупного хімічного впливу, зокрема ВМ, на населення [1, 9]. БМЛ широко використовується в епідеміологічних дослідженнях для визначення зв'язку між впливом денатурованого довкілля на рівень внутрішнього забруднення організму людини та як інструмент для його кількісної оцінки з метою оцінювання ризику, інформування про ризики та ухвалення рішень щодо управління ризиками [5, 10]. При цьому кращим підходом є вибір без- або малоінвазивних методів, коли йдеться про збір проб, зокрема сечі. Зразки сечі зазвичай використовуються для клінічних, екологічних і токсикологічних досліджень. Зокрема, Центри з контролю та профілактики захворювань США (CDC) [11] публікують Національну доповідь про вплив на людину хімічних речовин навколишнього середовища, яка є серією поточних оцінок впливу хімічних речовин навколишнього середовища на населення США, одержаних за допомогою біомоніторингу.

Розширення можливостей діагностики мікроелементного статусу населення за показниками вмісту МЕ у різних біосубстратах наразі можливе завдяки впровадженню сучасних технологій та використанню обладнання, яке дає можливість одночасного виявлення кількох ВМ, зокрема мас-спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-MS), дозволяє проводити мультиелементний аналіз з використанням як звичайного, так і надзвичайно малого об'єму проби, що дуже важливо для суміщення досліджень мікроелементного

статусу з іншими аналітичними методами при клініко-гігієнічних дослідженнях [12, 13].

Вищезазначене зумовило мету наших досліджень – визначити концентрацію та статеві особливості вмісту токсичних і потенційно токсичних мікроелементів з групи важких металів у сечі клінічно здорових мешканців промислового регіону та при захворюваннях нирок.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Клініко-гігієнічні дослідження проведені із залученням 108 мешканців Дніпропетровської області впродовж 2022-2024 рр. Сформовано дві групи обстежених – клінічно здорові мешканці промислових міст (волонтери), які становили контрольну групу – 40 осіб віком 18-55 років, що проживали не менше 5 років на відповідній території, не мали гострих і хронічних захворювань, впливу професійних шкідливостей. У групу пацієнтів із захворюваннями нирок увійшли 68 мешканців області віком 18-55 років, які мали клінічно встановлений діагноз – гострий пієлонефрит (ГП) та хронічна хвороба нирок: хронічний пієлонефрит (ХП) у стані загострення; не мали впливу професійних шкідливостей та знаходились на стаціонарному лікуванні в нефрологічному відділенні Комунального некомерційного підприємства «Міська клінічна лікарня № 4» Дніпровської міської ради. Частка чоловіків в обох групах становила 48% (52 чоловіки), жінок – 52% (56 жінок). Середній вік досліджуваного контингенту становив $34,0 \pm 1,4$ року: з них чоловіки – $33,4 \pm 2,0$ роки, жінки – $34,8 \pm 1,9$ року в групі контролю та $35,1 \pm 1,3$ року, з них чоловіки – $35,4 \pm 2,1$ року, жінки – $33,9 \pm 1,6$ року відповідно – у групі хворих на пієлонефрит. Зіставлення груп дослідження між собою не показало суттєвих відмінностей за статеві-віковим складом ($p > 0,05$), що дозволяє коректно порівнювати за іншими параметрами.

Дослідження схвалені комісією з питань біомедичної етики Дніпровського державного медичного університету (протокол № 3 від 02.11.2021 р.) та проведені згідно з письмовою згодою учасників і відповідно до принципів біоетики, викладених у Гельсінській декларації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людей» та «Загальній декларації про біоетику та права людини (ЮНЕСКО)».

У якості біологічного субстрату для дослідження використовували сечу, яку відбирали та зберігали до аналізу згідно із загальноприйнятими методами [1]. Дослідження вмісту МЕ проводили методом атомно-емісійної спектрометрії на атомно-емісійному спектрометрі з індуктивно зв'язаною плазмою іCAP 7200 Duo, № IC72DC164705, США, Фірма «Thermo Fisher

Scientific» (заводський номер IC72DC164705) у лабораторії Випробувального центру НДІ МБП ДДМУ. У якості стандартного розчину використовували багатоеlementний стандарт ICP multi-element standard solution IV Certipur® (23 elements in diluted nitric acid) 1000 mg/l (Merck KGaA, 64271 Darmstadt, Germany).

Для оцінювання мікроелементного статусу чоловіків та жінок досліджено вміст у сечі токсичних та потенційно токсичних мікроелементів – алюмінію, свинцю, барію, кадмію та стронцію. Отримані результати порівнювали з міжнародними референтними значеннями та аналогічними дослідженнями вітчизняних та зарубіжних вчених, визначали відмінності між групами й статеві зумовлену специфіку змін мікроелементного статусу на тлі розвитку захворювань. Оскільки ВМ мають широкий спектр синергічних та антагоністичних взаємозв'язків, проведено аналіз кореляційних зв'язків між токсичними та потенційно токсичними мікроелементами, а також оцінено ступінь адаптованості елементної системи організму згідно з модифікованою формулою [2]:

$$A = n \sum Kk / N,$$

де А – ступінь адаптованості, в ум.од., n – число достовірних кореляційних зв'язків, $\sum Kk$ – сума коефіцієнтів кореляції без урахування знаку, N – число мікроелементів, об'єднаних у плеяди.

Статистичне оброблення отриманих результатів проведено з використанням статистичного пакету STATISTICA 6.1 (ліцен. №AGAR909E415822FA StatSoft Inc.). З метою перевірки нормальності розподілу кількісних ознак використовували критерій Шапіро-Вілка та критерій Колмогорова-Смирнова. Показники наведені у вигляді середнього арифметичного (M), стандартного квадратичного відхилення (SD), медіани (Me), 25 та 75 перцентилів (Q1; Q3). У випадку відмінного від нормального розподілу даних у групах, для оцінки вірогідності відмінностей між незалежними групами використовувався U-критерій Манна-Вітні. Для виявлення взаємозв'язків між показниками, що мають нормальний розподіл, було використано критерій кореляції Пірсона, за умови відмінного від нормального – критерій рангової кореляції Спірмена. Критичний рівень статистичної значущості при перевірці усіх гіпотез приймався $p < 0,05$ [14].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати дослідження мікроелементного складу сечі клінічно здорових мешканців промислових міст Дніпропетровської області наведено в таблиці 1. Аналіз отриманих даних свідчить про широкий діапазон коливання

концентрацій токсичних та потенційно токсичних мікроелементів – від рівня, що нижче чутливості методу визначення, до 348,3 мкг/л – для стронцію. При цьому з усіх досліджуваних металів найвища концентрація в сечі встановлена для стронцію – 131,04 [52,1;201,9] мкг/л, найнижча – для кадмію 0,18 [0,11;0,56] мкг/л. Слід зазначити, що отримані нами дані щодо мікроелементного складу сечі неекспонованого в професійному плані населення загалом корелюють з даними інших дослідників, проте в деяких аспектах дещо різняться з ними, так само як і по відношенню до референтних значень [1, 5, 10, 12, 13]. Так, середній вміст у сечі мешканців промислового регіону алюмінію і барію виявився на порядок вище референтних значень,

наведених у дослідженнях Goullé J.P. et al. [13], однак відповідають результатам подібних досліджень, проведених в Україні [10] та за кордоном [1, 12]. Концентрація свинцю в сечі клінічно здорових мешканців області в 1,5-7,6 раза перевищує референтні значення та результати досліджень закордонних науковців серед неекспонованого населення [1, 5, 12]. Вміст стронцію в сечі виявився в 1,5 раза вищим порівняно з референтними значеннями, наведеними в роботі [13], проте відповідає результатам аналогічних досліджень [1, 12], так само, як і концентрація кадмію, яка узгоджується з даними зарубіжних вчених та референтними значеннями [1, 5, 13].

Таблиця 1

Вміст мікроелементів у сечі клінічно здорових мешканців промислового регіону (мкг/л)

ME	Показники					Референтні значення/дані літератури
	M	SD	Me	Q1	Q3	
Al	43,16	33,65	30,8	27,37	39,3	34,69 (31,03;38,77) [1] 0,16-11,2 (1,9) [13]; 90,0 [10]
Ba	6,74	5,59	8,81	1,49	9,14	0,1-14,0 [12] 0,17-3,85 (0,89) [13]
Cd	0,33	0,28	0,18	0,11	0,56	0,53 (0,46;0,62)[1]; 0,2-1,3 [5] 0,06-0,79 (0,16) [13]
Pb	5,73	4,01	4,21	1,9	10,4	1,8-2,1 (1,9); 2,81 [5]; 0,01-2,14 (0,55) [13]; 0,02-4,8[12]; <LOD-5,81 [1]
Sr	124,59	78,89	131,04	52,1	201,9	267,6 (234,7;305,1) [1] 20-413 (90) [13];11-675 [12]

Виявлені нами суттєві відмінності між референтними значеннями ВМ у сечі населення інших країн та результатами власних досліджень, а також досліджень інших авторів, на нашу думку, можуть бути зумовлені низкою чинників, як-то: країна, регіон проживання, вік, стать тощо, навіть при використанні одних і тих же методів дослідження, що ускладнює інтерпретацію отриманих результатів. Така ситуація потребує активної уваги з боку вчених щодо розробки національних референтних значень вмісту мікроелементів у біологічних середовищах організму, про нагальну необхідність чого активно наголошують інші вчені [10].

Порівняння отриманих нами результатів з базами даних NHANES [11] щодо вмісту окремих токсичних і потенційно токсичних МЕ у сечі дорослого населення Дніпропетровської області

свідчить, що концентрація кадмію та стронцію в 1,4-1,5 раза перевищує дані щодо їх вмісту в цьому біосубстраті серед неекспонованого у професійному плані населення. Подібна ситуація характерна і для свинцю та барію, концентрації яких у сечі за середніми та максимальними показниками виявились у 2,4-14,2 раза вищими. Отримані дані узгоджуються з результатами наших попередніх досліджень щодо підвищення вмісту токсичних та потенційно токсичних ВМ у біосубстратах мешканців промислового регіону [4] та свідчать про досить значний рівень внутрішнього забруднення організму людини, що проживає в умовах техногенно забруднених територій та становить потенційну загрозу для здоров'я як на індивідуальному, так і популяційному рівнях.

Нами виявлено різноспрямовані тенденції щодо змін концентрацій досліджуваних ВМ у сечі

пацієнтів із захворюваннями нирок (табл. 2). Вміст алюмінію і кадмію в сечі хворих на гострий та хронічний гломерулонефрит за медіаною виявився в 1,4-1,7 раза вищим, барію – у 3,5 раза нижчим ($p < 0,05$) порівняно з результатами досліджень у контрольній групі (табл. 1). Для більш глибокого аналізу отриманих даних нами здійснено оцінювання відповідно до форми захворюю-

вання, яке виявило достовірну відмінність у групі хворих на хронічний гломерулонефрит порівняно з контрольною групою ($p < 0,05$) за відсутності відмінностей у групі пацієнтів з гострим пієлонефритом. Концентрація свинцю та стронцію в сечі хворих на пієлонефрит достовірно не відрізнялась від показників контрольної групи.

Таблиця 2

Вміст ВМ у сечі при захворюваннях нирок (мкг/л)

ME	Форма захворювання					
	гострий пієлонефрит		хронічний пієлонефрит		гострий та хронічний пієлонефрит	
	M (SD)	Me [Q1;Q3]	M (SD)	Me [Q1;Q3]	M (SD)	Me [Q1;Q3]
Al	49,25 (24,29)	51,32 [29,16;63,15]	45,35 (17,68)	41,07* [38,79;50,94]	46,67 (20,03)	42,95* [38,78;57,35]
Ba	6,35 (7,33)	3,15 [1,8;8,6]	8,70 (15,63)	2,10* [1,3;6,8]	7,57 (12,16)	2,50** [1,4;7,0]
Cd	0,22 (0,18)	0,10 [0,09;0,32]	0,38 (0,23)	0,33* [0,20;0,51]	0,35 (0,22)	0,30* [0,19;0,50]
Pb	9,44 (10,03)	4,44 [4,01;7,36]	8,06 (8,05)	4,54 [3,79;5,76]	8,49 (9,45)	4,49 [3,95;9,65]
Sr	119,07	106,90 [43,45;149,9]	119,23 (78,97)	103,50 [57,91;166,42]	118,73 (80,92)	104,30 [54,7;158,4]

Примітки: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$ порівняно з контрольною групою.

Виявлені нами відмінності щодо концентрації алюмінію, барію та кадмію в сечі хворих на пієлонефрит порівняно з групою контролю свідчать про порушення мікроелементного балансу. Така ситуація, на нашу думку, може бути зумовлена низкою чинників, серед яких порушення фільтраційної здатності нирок, зокрема щодо виведення барію та підвищення рівня його накопичення в організмі. Однак через обмеженість даних літератури щодо цього металу наше припущення потребує подальших досліджень. Підвищення виведення окремих токсичних металів, на думку зарубіжних вчених [1, 15], може бути зумовлено підвищеним рівнем їх накопичення безпосередньо в нирках, особливо за умови впливу суміші токсичних речовин [15], через пошкодження тубулярних клітин нирок, що здебільш розвивається за довготривалого впливу. При цьому, оскільки до 50% пулу кадмію в організмі може відкладатися в нирках [6, 8], він здатний потенціювати патологічний процес та становити серйозну загрозу для здоров'я людини, особливо на фоні тривалого періоду напіввиведення з організму.

Аналіз гендерних та вікових відмінностей виявив, що вміст усіх досліджуваних металів виявився вищим у сечі чоловіків контрольної групи порівняно з жінками, однак достовірними ці відмінності виявились для барію – в 1,3 раза ($p = 0,039$). У хворих на пієлонефрит вміст ВМ у сечі чоловіків порівняно з їх рівнем у сечі жінок виявився достовірно вищим для таких мікроелементів, як кадмій – в 1,8 раза ($p = 0,023$), свинець – в 1,3 раза ($p = 0,029$) та стронцій – в 1,4 раза ($p = 0,011$), та нижчим для алюмінію – в 1,3 раза ($p = 0,002$). При цьому з віком спостерігається тенденція до зростання в сечі здорового населення вмісту низки металів – алюмінію, барію та кадмію, однак достовірними ці відмінності виявились для барію ($r = 0,360$, $p = 0,018$). У сечі пацієнтів обох статей із захворюваннями нирок виявлено зниження з віком вмісту алюмінію ($r = -0,264$, $p = 0,028$).

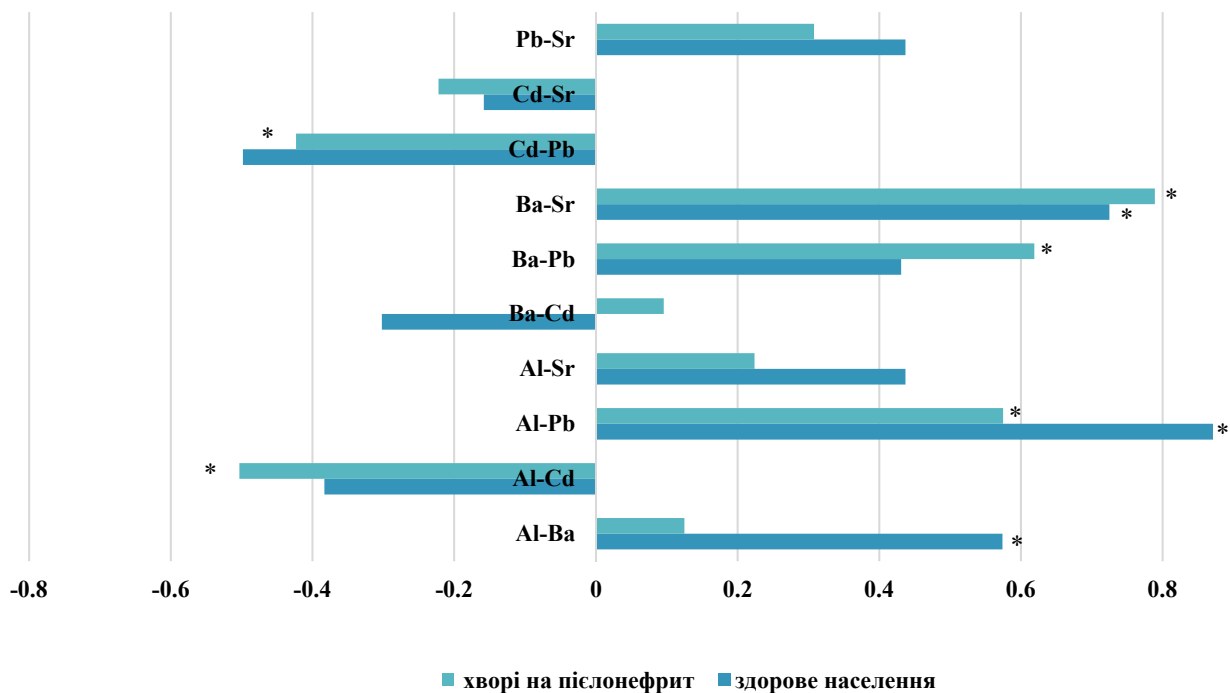
Отримані нами результати загалом корелюють з даними досліджень Zhang Z. et al. [1], у яких не виявлено гендерних відмінностей у концентрації досліджуваних ВМ, зокрема таких нефротоксикантів, як свинець та кадмій у сечі, незважаючи на те, що в статті автори наводять результати

окремих досліджень, у яких така відмінність встановлена. Така ситуація може бути зумовлена низкою чинників, серед яких і статево-віковий склад досліджуваних груп, і соціально-економічні відмінності, наявність шкідливих звичок тощо. Однак на сьогоднішній день фізіологічні причини гендерних відмінностей щодо концентрації ВМ у сечі достовірно не встановлені.

Нами виявлено наявність кореляційних залежностей між вмістом ВМ у сечі (рис.). Зокрема, встановлено наявність достовірного прямого кореляційного зв'язку в бінарних системах: «Al-Pb» ($r=0,87$; $p<0,05$), «Sr-Ba» ($r=0,73$; $p<0,05$) та «Al-Ba» ($r=0,57$; $p<0,05$) в осіб контрольної групи. У групі хворих на піелонефрит достовірними прямими виявились зв'язки в бінарних системах «Ba-Sr» ($r=0,79$; $p<0,05$), «Pb-Ba» ($r=0,62$; $p<0,05$) та «Al-Pb» ($r=0,58$; $p<0,05$), від'ємними - «Al-Cd» ($r=-0,50$; $p<0,05$) та «Cd-Pb» ($r=-0,42$; $p<0,05$), що

корелює з результатами наших попередніх досліджень [4]. Кількість кореляційних зв'язків зросла в 1,7 раза, а ступінь адаптованості – в 1,3 раза в групі пацієнтів із захворюваннями нирок порівняно з групою контролю.

Відомо, що мінімальна наявність токсичних та потенційно токсичних елементів не загрожує зривом адаптаційних механізмів організму і становить один з найважливіших компонентів нормального його функціонування. Водночас, в умовах постійного впливу ВМ, зміни кореляційних зв'язків свідчать про адаптаційне напруження між фізіологічними параметрами (стадія напруження), а у випадку успішної адаптації відбувається їх зменшення [2]. Таким чином, отримані нами результати свідчать, що при патології сечовидільної системи адаптація організму визначалася як стадія напруження й була пов'язана з тривалістю захворювання.



* – $p<0,05$

Кореляційні залежності між вмістом МЕ у сечі клінічно здорових мешканців Дніпропетровської області та при захворюваннях нирок

ВИСНОВКИ

1. Вміст токсичних та потенційно токсичних мікроелементів з групи важких металів у сечі клінічно здорових мешканців промислового регіону коливається в широкому діапазоні, залежно від виду металу. Концентрація кадмію в сечі мешканців регіону відповідає референтним значенням, однак перевищує їх за вмістом алюмінію, барію, свинцю

та стронцію. При цьому вміст таких ксенобіотиків, як свинець, кадмій та барій, в 1,4-14,2 раза вище результатів досліджень, проведених на територіях еколого-геохімічного оптимуму за максимальними та середніми показниками, що може свідчити про техногенність їх походження. Розвиток захворювань сечовидільної системи супроводжується та

може посилюватися на тлі мікроелементного дисбалансу, що проявляється достовірним збільшенням в 1,4-1,7 рази концентрації алюмінію та кадмію за зниження вмісту барію, особливо при хронічній формі захворювання.

2. Установлено статево зумовлену специфіку концентрацій важких металів у сечі: достовірно вищий вміст барію, кадмію, свинцю та стронцію в сечі чоловіків – в 1,3-1,8 рази порівняно з жінками – за нижчих в 1,3 рази рівнів алюмінію. При цьому з віком виявлено достовірне зростання вмісту барію в сечі клінічно здорових мешканців за зниження вмісту алюмінію в групі хворих на пієлонефрит.

3. Нами виявлено наявність кореляційних залежностей між вмістом ВМ у сечі. Зокрема, встановлено наявність кореляційного зв'язку різної інтенсивності та напрямку в бінарних системах: «Al-Pb», «Sr-Ba» – в обох групах спостереження, «Al-Ba» – в осіб контрольної групи, «Al-Cd», «Pb-Ba» та «Cd-Pb» – у групі хворих на пієлонефрит. При цьому кількість кореляційних зв'язків зросла в 1,7 рази, а ступінь адаптованості – в 1,3 рази в групі пацієнтів із захворюваннями нирок порівняно з групою контролю, що свідчить про адаптаційне напруження організму.

4. Отримані результати є важливим підґрунтям для подальшої розробки національної бази референтних значень вмісту мікроелементів у біосередовищах організму людини при проведенні біомоніторингових досліджень для своєчасної діагностики мікроелементного дисгомеостазу та впровадження комплексу заходів з покращення громадського здоров'я.

Внески авторів:

Онул Н.М. – концептуалізація, рецензування, редагування, адміністрування;

Юнтунен Г.М. – методологія, збір та аналіз даних, дослідження, статистичний аналіз, підготовка тексту публікації та візуалізація даних;

Родіонова В.В. – рецензування та редагування;

Білецька Е.М. – аналіз даних, редагування;

Поліон М.Ю. – збір та аналіз даних, формальний аналіз;

Туренко О.А. – надання матеріалів для дослідження, редагування.

Фінансування. Дослідження не має зовнішніх джерел фінансування.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES

1. Zhang Z, Guo S, Hua L, et al. Urinary levels of 14 metal elements in general population: a region-based exploratory study in china. *Toxics*. 2023;11(6):488. doi: <https://doi.org/10.3390/toxics11060488>

2. Andrusyshyna I. Elemental state of the organism of workers and population as manifestation of adaptation to the technogenic effect of metals: new methodological approaches. *Medicini Perspektivi*. 2021;26(4):174-80. doi: <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2021.4.248220>

3. Lv Y, Wei Y, Zhou J, et al. Human biomonitoring of toxic and essential metals in younger elderly, octogenarians, nonagenarians and centenarians: Analysis of the Healthy Ageing and Biomarkers Cohort Study (HABCS) in China. *Environ Int*. 2021;156:106717. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106717>

4. Onul NM, Biletska EM, Stus VP, Polion MY. The role of lead in the etiopathogenesis of male fertility reduction. *Wiad Lek*. 2018;71(6):1155-60. PMID: 30267492

5. Saravanabhavan G, Werry K, Walker M, et al. Human biomonitoring reference values for metals and trace elements in blood and urine derived from the Canadian health measures survey 2007-2013. *Inter J of Hygiene and Environmental health*. 2017 Mar;220(2 Pt A):189-200. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.10.006>

6. Satarug S. Is chronic kidney disease due to cadmium exposure inevitable and can it be reversed? *Biomedicines*. 2024;12(4):718. doi: <https://doi.org/10.3390/biomedicines12040718>

7. Heitland P, Köster HD. Biomonitoring of 30 trace elements in urine of children and adults by ICP-MS. *Clin Chim Acta*. 2006;365(1-2):310-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cca.2005.09.013>

8. Stojšavljević A, Ristić-Medić D, Krstić D, et al. Circulatory imbalance of essential and toxic trace elements in pre-dialysis and hemodialysis patients. *Biological Trace Element Research*. 2022 Jul;200(7):3117-25. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02940-7>

9. Huber S, Michel J, Maurice R. A Fast-Forward Dilute-and-Shoot multielement method for analysis of 33 elements in human whole blood, serum, and urine by inductively coupled plasma mass spectrometry: a streamlined approach for clinical diagnostic and biomonitoring. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. 2024;2024:9944995. doi: <https://doi.org/10.1155/2024/9944995>

10. Ishcheikin KІe, Andrusyshyna ІM, Holub ІO, Lаmpеkа ОH, Рyvovаr ТM, Tsapkо VH. [New approaches to hygienic standardization of optimal concentrations of toxic metals and essential trace elements in human biological environments]. *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2022;18(2):96-106. Ukrainian. doi: <https://doi.org/10.33573/ujoh2022.02.096>

11. National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals. National Center for Environmental Health. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention [Internet. 2022



[cited 2024 Dec 16]; updated 2024 Mar]. Available from:
<https://stacks.cdc.gov/view/cdc/133100>
doi: <https://doi.org/10.15620/cdc:133100>

12. Heitland P, Koster HD. Human biomonitoring of 73 elements in blood, serum, erythrocytes and urine. *Journal of Trace Elements in Medicine & Biology*. 2021;64:126706. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2020.126706>

13. Goullé JP, Mahieu L, Castermant J, Neveu N, Bonneau L, Lainé G, et al. Metal and metalloid multi-elementary ICP-MS validation in whole blood, plasma, urine and hair. Reference values. *Forensic Sci Int*. 2005;153(1):39-44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2005.04.020>

14. Riffenburgh R, Gillen D. *Statistics in medicine*. Elsevier Inc. London. 2020. 822 p.

Стаття надійшла до редакції 06.01.2025;
затверджена до публікації 06.02.2025

