

Вміст металів у шкірі жінок з ознаками метаболічного синдрому

Т.М. Фалалєєва¹, Н.Р. Грицевич², Ю.М. Пенчук¹, О.П. Гаділія¹, В.В. Верещака¹

¹Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

²Комунальний заклад вищої освіти Львівської обласної ради «Львівська медична академія імені Андрея Крупинського»; e-mail: hrytsevich@gmail.com

Роль мікроелементів при метаболізмі сполучної тканини не викликає сумнівів. У осіб з порушенням вуглеводного обміну у шкірі накопичуються деякі неорганічні речовини, але кількісні характеристики цих змін залишаються не вивченими. Метою нашого дослідження була оцінка вмісту металів у шкірі жінок з ознаками метаболічного синдрому. Обстежено 40 жінок (віком від 40 до 55 років), які отримали хірургічну корекцію косметичних дефектів шкіри. Обстежених розділили на 2 групи з ознаками метаболічного синдрому (дослід) і без нього (контроль). Стан вільнорадикального окиснення шкірного покриву визначали безпосередньо в тканинах шкіри спектрофотометричним методом. У зразках шкіри досліджували вміст первинних (дієнові кон'югати) і вторинних (малоновий діальдегід) продуктів перекисного окиснення ліпідів, а вміст білка – методом Лоурі. Встановлено підвищення вмісту первинних і вторинних продуктів перекисного окиснення ліпідів у шкірі. Методами атомно-адсорбційної спектроскопії констатовано збільшення вмісту магнію, кобальту, заліза та кальцію і зменшення нікелю та міді, що є ознакою порушення сорбції колагеном шкіри.

Ключові слова: шкіра; метаболічний синдром; перекисне окиснення ліпідів; 3d- метали.

ВСТУП

Відповідно до сучасних наукових даних, виникнення метаболічного синдрому тісно пов'язане зі збільшенням рівня ожиріння та цукрового діабету 2-го типу [1]. Метаболічний синдром вражає, зокрема, близько 25% населення світу. У містах показники значно вищі через споживання висококалорійної дієти з низьким вмістом поживних речовин, а також зниження фізичної активності [2]. Ожиріння є найбільш важливим компонентом метаболічного синдрому [3]. Вважається, що оксидативний стрес має велике значення у розвитку метаболічного синдрому через порушення секреції інсуліну та транспорту глюкози в жировій тканині і м'язах [4].

Мікроелементи відіграють ключову роль у підтримці нормального метаболізму в організмі людини, а їх дефіцит завжди призводить до серйозних захворювань [5].

© Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, 2026

Надлишок мікроелементів також суттєво впливає на організм. Нині найменш вивченими є зміни вмісту мікроелементів у шкірі за умов розвитку метаболічного синдрому. Насамперед це стосується вмісту кобальту, магнію, заліза, кальцію, нікелю, міді. Залізо та кобальт належать до мікронутрієнтів, які виконують важливі функції для підтримки нормального гомеостазу в організмі людини [6, 7]. Залізо також бере участь у транспортуванні кисню як компонент гемоглобіну [8], а кобальт – в еритропоезі [9]. Виняткові фізичні та хімічні властивості магнію роблять його незамінним стабілізуючим фактором у організації різноманітних клітинних реакцій і функцій органел, таким чином у процесах, які безпосередньо впливають на здоров'я м'язів [10]. Іони кальцію (Ca^{2+}) служать універсальними вторинними месенджерами, що регулюють ендокринні, нейронні та метаболічні процеси [11]. Мідь – мікроелемент, необхідний як

каталітичний кофактор для широкого спектра біохімічних процесів, включаючи утворення АТФ у мітохондріях, дозрівання гормонів, мобілізацію заліза та диспропорціонування токсичного супероксиду [12]. Нікель, за сучасною класифікацією, належить до умовно-есенціальних мікроелементів. Він бере участь в утворенні й функціонуванні ДНК, РНК, білків та гормону пролактину. Є потужним стимулятором еритропоезу, синтезу гемоглобіну; підвищує засвоєння доступного заліза.

Метою нашого дослідження було визначення вмісту металів та продуктів перекисного окиснення ліпідів у шкірі жінок з ознаками метаболічного синдрому.

МЕТОДИКА

Робота ґрунтується на результатах обстеження шкіри жінок віком від 40 до 55 років, які отримали хірургічну корекцію косметичних дефектів. Обстеження проведені відповідно до принципів Гельсінської декларації Світової медичної асоціації «Етичні засади медичних досліджень, що стосуються людських суб'єктів» 1975 р. (із змінами від 2013 р.). Усі пацієнтки, які брали участь у обстеженні, надали письмову інформовану згоду. Дослідження затверджено біоетичним Львівської медичної академії імені Андрея Крупинського» (протокол № 2 від 26.06.2023 р.). Здорових жінок ($n = 20$) було включено в контрольну групу, а з ознаками метаболічного синдрому ($n = 20$) – в дослідну групу. Під час проведення планових оперативних утручань з приводу усунення косметичних дефектів лица з привушно-жувальної зони брали біоптати шкіри, які надалі використовували для проведення досліджень. У зразках шкіри досліджували вміст первинних – дієнові кон'югати гідроперекисів (ДК) і вторинних – малонового діальдегіду (МДА) продуктів перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) [13], а вміст білка у пробах – за методом Лоурі.

У тканинах шкіри визначали вміст ко-

бальту, магнію, заліза, кальцію, нікелю та міді з використанням атомно-адсорбційного спектрометра SP 9 Pye Unicam (Англія). Зразки шкіри висушували до постійної маси при 80°C у сушильній шафі, а потім гомогенізували і піддавали термообробці у муфельній печі при температурі 100, 200, 300, 400, 500°C по 2 год і при 550°C – 10 год. При цьому органічна складова перетворювалася у вугілля. Зола розчиняли у соляній кислоті (1:3) і аналізували. Вміст елементів розраховували на 1 г сухої шкіри.

Результати обстежень перевіряли на нормальність розподілу, після чого піддавали статистичній обробці з використанням критерію t Стюдента.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Наше дослідження ми розпочали з визначення в шкірі вмісту ДК та ТБК-активних продуктів у жінок з метаболічним синдромом. Встановлено, що у зразках їхньої шкіри значно збільшеним був вміст первинних і вторинних продуктів ПОЛ (табл. 1). Вміст ДК у гептановій та ізопропанольній фазах підвищувався порівняно із контрольними значеннями у 2,8 раза. Вміст ТБК-активних продуктів був вищим на 59%. Відносно менше збільшення вмісту ДК у гептановій фазі порівняно з ізопропанольною може пояснюватися тим, що в гептанову фазу екстрагуються тригліцериди, які є ознакою метаболічного синдрому, а ізопропанольну – фосфоліпіди, вміст яких зменшується при зазначеній патології. Токсична дія продуктів ПОЛ (МДА, ДК) на білкові структури шкіри інактивується каталазою, яка пригнічує перекиси та збільшує резистентність базальних епідермоцитів і фібробластів до недостатності кисню, зменшує його використання цими клітинами. Очевидно, антиоксидантна активність каталази в шкірі за умов розвитку метаболічного синдрому не є достатньою для знешкодження продуктів ПОЛ.

Таблиця 1. Вміст продуктів перекисного окиснення ліпідів у шкірі жінок з ознаками метаболічного синдрому ($M \pm m$; $n = 20$)

Група обстежених	Дієнові кон'югати, ум.од.·мг ⁻¹		ТБК-активні продукти, нмоль·мг ⁻¹ білка
	Гептанова фаза, E232/E220	Ізопропанольна фаза, E232/E220	
Контроль	0,84 ± 0,08	0,39 ± 0,05	3,61 ± 0,22
Дослід	1,49 ± 0,29*	1,69 ± 0,1*	5,74 ± 0,5*

Примітка: тут і в табл. 2 * $P < 0,05$ відносно контролю.

Далі було встановлено, що вміст кобальту в шкірі жінок з метаболічним синдромом підвищувався на 63,1% ($P < 0,05$) відносно контролю (табл. 2), що може свідчити про збільшення кількості його солей на колагеновому волокні. Слід зазначити, що метаболічний синдром характеризується фіброзом шкіри, а підвищений вміст гіалуронової кислоти у її сполучнотканинному остові є захисною реакцією та відповідь на деструкцію епітеліальних структур.

Вміст магнію в шкірі жінок з метаболічним синдромом зростав на 26,1% ($P < 0,05$) порівняно з контролем (див. табл. 2). При цьому у сироватці крові його концентрація коливалася від 0,9 до 1,25 ммоль/л (неопубліковані результати), що відповідало віковій нормі. Збільшення вмісту магнію призводило до зменшення накопичення лактату і стабілізації гліколізу у епідермісі і дермі.

Вміст заліза у шкірі осіб дослідної групи збільшувався на 35,7% ($P < 0,05$) порівняно з контролем (див. табл. 2). Депонування заліза у дермі відбувається через феритин. Тканинний метаболізм порушується внаслідок змін у металовмісних ферментних системах, зокрема, залізо апоферитину, що беруть участь у переносі електронів з окисненої ре-

човини на кисень. Надмірна кількість залізо-феритинового комплексу у тканинах шкіри може призводити до гіперпігментації. За даними літератури, чорний акантоз (acanthosis nigricans) включає гіперпігментацію шкіри в складках тіла і є шкірними проявами цукрового діабету, асоційованого з метаболічними порушеннями [14]. В інших дослідженнях показано взаємозв'язок чорного акантозу і метаболічного синдрому [15, 16] та його ознаками – гіперглікемією та інсулінорезистентністю [17, 18].

У жінок з метаболічним синдромом вміст кальцію в шкірі збільшувався на 31,3% ($P < 0,05$) порівняно з контролем (див. табл. 2). Одержані результати узгоджуються з даними літератури, згідно з якими підвищений вміст кальцію в сироватці крові асоційований із збільшеним ризиком розвитку метаболічного синдрому [19]. Ми вважаємо, що за таких умов солі кальцію дифундують у сполучну тканину, де можуть сорбуватися на колагенових волокнах і підсилювати ознаки фіброзу дерми.

На відміну від кобальту, магнію, заліза і кальцію, вміст яких у шкірі жінок із метаболічним синдромом зростав, вміст нікелю був на 35,2% ($P < 0,05$) меншим відносно контролю (див. табл. 2). Також

Таблиця 2. Вміст металів (мкг/г сухої шкіри) у жінок з ознаками метаболічного синдрому ($M \pm m$; $n = 20$)

Група обстежених	Кобальт	Магній	Залізо	Кальцій	Нікель	Мідь
Контроль	0,19 ± 0,05	0,23 ± 0,03	27,44 ± 2,84	0,32 ± 0,03	0,54 ± 0,09	3,11 ± 0,32
Дослід	0,31 ± 0,06*	0,29 ± 0,02*	37,24 ± 2,66*	0,42 ± 0,04*	0,35 ± 0,07*	1,99 ± 0,39*

у них зменшився вміст міді на 36,0% ($P < 0,05$). Це призводить до зниження здатності купропротеїну інактивувати фототоксини, що утворюються на відкритих ділянках шкірного покриву через ультрафіолет. Зниження вмісту міді спричинює пригнічення тирозинази і може викликати тканинну гіпоксію і стимулювати ПОЛ.

ВИСНОВКИ

1. Метаболічний синдром у жінок характеризується підвищенням у шкірі вмісту первинних (ДК) і вторинних (МДА) продуктів ПОЛ.

2. У шкірі жінок із метаболічним синдромом збільшується вміст магнію, кобальту, заліза та кальцію та зменшується вміст нікелю та міді у шкірі.

3. Наведені результати свідчать про розвиток запального процесу, фіброзу та гіпоксії в шкірі, що є наслідком прояву метаболічного синдрому.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of co-authors of the article.

**T.M. Falaleyeva¹, N.R. Hrytsevych²,
Yu.M. Penchuk¹, O.P. Gadilia¹, V.V. Vereshchaka¹**

METAL CONTENT IN THE SKIN OF WOMEN WITH SIGNS OF METABOLIC SYNDROME

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv;

²Andrei Krupynskyi Lviv Medical Academy;

e-mail: hrytsevich@gmail.com

The role of trace elements in connective tissue metabolism is beyond doubt. In individuals with impaired carbohydrate metabolism, some inorganic substances accumulate in the skin, but the quantitative characteristics remain unstudied. Our study aimed to assess the metal content in the skin of women with signs of metabolic syndrome. The work was based on the results of skin examination of 20 women aged 40 to 55 years who received surgical correction of cosmetic defects and had signs of metabolic syndrome. Determination

of the state of free radical oxidation of the skin was carried out directly in skin tissues by the spectrophotometric method. The content of primary (DC) and secondary (MDA) products of lipid peroxidation was determined in skin samples. The protein content in the samples was determined by the Lowry method. An increase in the content of primary and secondary products of lipid peroxidation in the skin was established. Atomic adsorption spectrometry methods have shown an increase in the content of magnesium, cobalt, iron, and calcium and a decrease in the content of nickel and copper in the skin, which contributes to the development of skin fibrosis.

Key words: skin; metabolic syndrome; lipid peroxidation; 3d-metals.

REFERENCES

1. Pryzhbylo OM, Kmet OG, Davydenko IS, Lisnianska NV. Carbacetam effect on oxidative stress markers in different gender rats with metabolic syndrome. *Odesa Med J*. 2025;192(2):9-14. doi:10.32782/2226-2008-2025-2-1.
2. Martemucci G, Khalil M, Di Luca A, Abdallah H, D'Alessandro AG. Comprehensive strategies for metabolic syndrome: How nutrition, dietary polyphenols, physical activity, and lifestyle modifications address diabetes, cardiovascular diseases, and neurodegenerative conditions. *Metabolites*. 2024;14(6):327. doi:10.3390/metabo14060327.
3. Colak E, Pap D. The role of oxidative stress in the development of obesity and obesity-related metabolic disorders. *J Med Biochem*. 2021 Jan 26;40(1):1-9. doi: 10.5937/jomb0-24652.
4. Colak E, Pap D. The role of oxidative stress in the development of obesity and obesity-related metabolic disorders. *J Med Biochem*. 2021 Jan 26;40(1):1-9. doi: 10.5937/jomb0-24652.
5. Li W, Zhang Qi, Wang J, Gao Y, Zhang H, Jiang L, et al. Genome-wide association study of grain manganese content in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under four environments. *Food Sci Nutr*. 2025 Apr 11;13(4):e70170. doi: 10.1002/fsn3.70170.
6. Sule K, Umbsaar J, Prenner EJ. Mechanisms of Co, Ni, and Mn toxicity: From exposure and homeostasis to their interactions with and impact on lipids and biomembranes. *Biochim Biophys Acta (BBA) Biomembr*. 2020;1862:183250. doi: 10.1016/j.bbamem.2020.183250.
7. Galaris D, Barbouti A, Pantopoulos K. Iron homeostasis and oxidative stress: An intimate relationship. *Biochim et Biophys. Acta (BBA) Mol Cell Res*. 2019;1866:118535. doi: 10.1016/j.bbamcr.2019.118535.
8. Makovec T. Idea to explore: The structure of the oxygen and iron ion. *Biochem Mol Biol Educ*. 2018;46:630-3. doi: 10.1002/bmb.21181.
9. Koury MJ, Ponka P. New insights into erythropoiesis: The roles of folate, vitamin B12, and iron. *Annu Rev Nutr*. 2004;24:105-31. doi: 10.1146/annurev.

- nutr.24.012003.132306.
10. Souza ACR, Vasconcelos AR, Dias DD, Komoni G, Name JJ. The integral role of magnesium in muscle integrity and aging: A comprehensive review. *Nutrients*. 2023 Dec 16;15(24):5127. doi: 10.3390/nu15245127.
11. Paparella R, Pastore F, Marchetti L, Bei A, Bernabei I, Iafrate N, et al. Endocrine disorders of calcium signaling in children: neuroendocrine crosstalk and clinical implications. *Cells*. 2026 Jan 13;15(2):140. doi: 10.3390/cells15020140.
12. Yuan S, Korolnek T, Kim B-E. Oral elesclomol treatment alleviates copper deficiency in animal models. *Front Cell Dev Biol*. 2022 Apr 1;10:856300. doi: 10.3389/fcell.2022.856300.
13. Kompanets IV, Ostapchenko LI. Research on membrane proteins and lipids: Textbook (for students of the Educational and Research Center «Institute of Biology»). Kyiv, 2013.
14. Tykhonova TM. Skin lesions in diabetes mellitus: risk factors for development, clinical manifestations, prevention and treatment. *Probl Endocrin Pathol*. 2019;67(1):121-8. doi:10.21856/j-PEP.2019.1.15. [Ukrainian].
15. Patidar PP, Ramachandra P, Philip R, Saran S, Agarwal P, Gutch M, et al. Correlation of acanthosis nigricans with insulin resistance, anthropometric, and other metabolic parameters in diabetic Indians. *Ind J Endocrinol Metab*. 2012;(Suppl 2):S436-7. doi: 10.4103/2230-8210.104122.
16. Choudhary S, Srivastava A, Saoji V, Singh A, Verma I, Dhande S. Association of acanthosis nigricans with metabolic syndrome – An analytic cross-sectional study. *An Bras Dermatol*. 2023 Mar 22;98(4):460-5. doi: 10.1016/j.abd.2022.07.006.
17. Alvarez-Villalobos NA, Rodriguez-Gutierrez R, Gonzalez-Saldivar G, et al. Acanthosis nigricans in middle-age adults: A highly prevalent and specific clinical sign of insulin resistance. *Int J Clin Pract*. 2020;74:e13453. doi:10.1111/ijcp.13453.
18. Svoboda SA, Shields BE. Cutaneous manifestations of nutritional excess: pathophysiologic effects of hyperglycemia and hyperinsulinemia on the skin. *Cutis*. 2021;107:74-8. doi:10.1111/ijcp.13453.
19. Cho GJ, Shin JH, Yi KW, Park HT, Kim T, Hur JY, et al. Serum calcium level is associated with metabolic syndrome in elderly women. *Maturitas*. 2011;68(4):382-6. doi: 10.1016/j.maturitas.2011.01.013.

*Матеріал надійшов
до редакції 10.04.2026*