ВІСНИК
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ISSN 1728-2748 (Print), ISSN 2308-8036 (Online)

БІОЛОГІЯ 2(101)/2025

Засновано 1958 року

УДК 00.57
DOI: https://doi.org/10.17721/1728.2748.2025.101.1-39

Наведено експериментальні дані про особливості будови, розвитку та функціонування рослинних і тваринних організмів, флору та фауну України, одержані на основі досліджень, що проводять науковці ННЦ "Інститут біології та медицини" у галузях фізіології рослин і тварин, генетики, ботаніки, зоології, мікробіології, вірусології. Викладено нові дані стосовно біохімічних і біофізичних основ регуляції у клітинах і органах у нормі та після впливу різноманітних фізико-хімічних факторів. Подано результати нових методичних розробок.

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Остапченко Людмила, д-р біол. наук, проф. (Україна)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Берегова Тетяна, д-р біол. наук, проф. (Україна)**; Бєлінська Ірина, д-р біол. наук, доц.** (Україна)**; Бубріак Іван, канд. мед. наук** (Велика Британія)**; Гапоненко Вадим, канд. техн. наук, проф.** (США)**; Гарманчук Людмила, д-р біол. наук, проф.** (Україна)**; Жолос Олександр, д-р біол. наук, проф.** (Україна)**; Калачова Тетяна, д-р філософії (біол.)** (Чешська республіка)**; Короткий Олександр, д-р біол. наук, проф. (заст. голов. ред.)** (Україна)**; Лугоніа Ніколета, канд. хім. наук** (Сербія)**; Людовіко Абенаволі, д-р мед. наук** (Італія)**; Макарчук Микола, д-р біол. наук, проф.** (Україна)**; Мартинюк Віктор, д-р біол. наук, проф.** (Україна)**; Сиволоб Андрій, д-р біол. наук, проф.** (Україна)**; Сківка Лариса, д-р біол. наук, проф.** (Україна)**; Таран Наталія, д-р біол. наук, проф.** (Україна)**; Фагуні Шарміла, канд. біол. наук** (Італія)**; Фалалєєва Тетяна, д-р біол. наук, проф.** (Україна)**; Цейслєр Юлія, канд. біол. наук, доц. (відп. ред.)** (Україна)

Адреса редколегії

Навчально-науковий центр "Інститут біології та медицини"
просп. Акад. Глушкова, 2 а, м. Київ, 03127
☎ (38044) 521 35 98
e-mail: biovisnyk@knu.ua
web: https://bio.visnyk.knu.ua/

Затверджено

вченою радою ННЦ "Інститут біології та медицини"
29.05.25 (протокол № 13)

Зареєстровано

Національною радою України з питань телебачення і радіомовлення
Рішення № 1089 від 28.03.24
Ідентифікатор друкованого медіа: R30-03806

Атестовано

Міністерством освіти і науки України (категорія Б)
Наказ № 1412 від 18.12.18

Індексування

DOAJ, Hinari, Open Academic Journal Index (OAJI), Quality Open Access Market (QOAM), Research Bib, Index Copernicus, Ulrich's Periodicals, CrossRef

Засновник та видавець

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
ДК № 1103 від 31.10.02

Адреса видавця

ВПЦ "Київський університет"
б-р Тараса Шевченка, 14, м. Київ, 01601
☎ (38044) 239 32 22, 239 31 58, 239 31 28
e-mail: vpc@knu.ua

© Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ВПЦ "Київський університет", 2025

BULLETIN

TARAS SHEVCHENKO NATIONAL UNIVERSITY OF KYIV

ISSN 1728-2748 (Print), ISSN 2308-8036 (Online)

BIOLOGY 2(101)/2025

Established in 1958

UDC 00.57
DOI: https://doi.org/10.17721/1728.2748.2025.101.1-39

Collection of articles written by the scientists of ESC "Institute of biology and medicine" contains data on research in molecular biology, physiology, genetics, microbiology, virology, botanics, zoology concerning the structure, development and function of the plant and animal organisms, flora and fauna of Ukraine. Results of newly developed biophysical methods of biological research, biochemical data regarding metabolic regulation under the influence of different factors are presented.

For scientists, professors, aspirants and students.

EDITOR-IN-CHIEF	**Ostapchenko Lyudmila, DSc (Biol.), Prof.** (Ukraine)
EDITORIAL BOARD	**Abenavoli Ludovico, DSc (Med.)** (Italy)**; Beregova Tetyana, DSc (Biol.), Prof.** (Ukraine)**; Boubriak Ivan, PhD (Med.)** (United Kingdom)**; Byelinska Iryna DSc (Biol.)** (Ukraine)**, Fagoonee Sharmila, PhD (Biol.)** (Italy)**; Falalyeyeva Tetyana, DSc (Biol.), Prof.** (Ukraine); **Garmanchuk Liudmyla, DSc (Biol.), Prof.** (Ukraine); **Kalachova Tetiana, PhD (Biol.)** (Czech Republic); **Korotkyi Oleksandr, DSc (Biol.), Prof. (Deputy Editor)** (Ukraine); **Lugonja Nikoleta, PhD (Chem.)** (Republic of Serbia)**; Makarchuk Mykola, DSc (Biol.), Prof.** (Ukraine)**; Martynyuk Viktor, DSc (Biol.), Prof.** (Ukraine)**; Skivka Larysa, DSc (Biol.), Prof.** (Ukraine)**; Syvolob Andriy, DSc (Biol.), Prof.** (Ukraine)**; Taran Nataliya, DSc (Biol.), Prof.** (Ukraine)**; Tseyslyer Yuliya, PhD (Biol.) (Executive Editor)** (Ukraine)**; Zholos Oleksandr, DSc (Biol.), Prof.** (Ukraine)
Address	**Educational and scientific center "Institute of Biology and Medicine"** **2a, Acad. Glushkova av., Kyiv, 03127** **☎ (38044) 521 35 98** **e-mail: biovisnyk@knu.ua** **web: https://bio.visnyk.knu.ua/**
Approved by	**the Academic Council of the ESC "Institute of Biology and Medicine"** **29.05.25 (protokol № 13)**
Registared by	**the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine** **Decision № 1089 of 28.03.24** **Identifier of printed media: R30-03806**
Certified by	**the Ministry of Education and Science of Ukraine (category B)** **Order №1412 dated 18.12.18**
Indexing	**DOAJ, Hinari, Open Academic Journal Index (OAJI),** **Quality Open Access Market (QOAM), Research Bib, Index Copernicus,** **Ulrich's Periodicals, CrossRef**
Founded and published	**Taras Shevchenko National University of Kyiv** **Publishing and Polygraphic Center "Kyiv University"** **Certificate of entry into the State Register** **ДК № 1103 dated 31.10.02**
Address	**PPC "Kyiv University"** **14, Taras Shevchenka blvd., Kyiv, 01601** **☎ (38044) 239 32 22, 239 31 58, 239 31 28** **e-mail: vpc@knu.ua**

© Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Publishing and Polygraphic Center "Kyiv University", 2025

ЗМІСТ

ДУЛО Олена, МІРОШНІЧЕНКО Вячеслав, ГЕМА-БАГИНА Наталія
Адаптаційні реакції на дозовані фізичні навантаження дівчат різних соматотипів гірських районів Закарпаття 5

КОВТУН-ВОДЯНИЦЬКА Світлана, ЛЕВЧУК Ірина, ГОЛУБЕЦЬ Ольга, РАХМЕТОВ Джамал
Особливості фітохімічного складу ефірної олії *Thymus tauricus* (Lamiaceae) за інтродукції у Лісостепу України 10

ДОЛГА Яна, ПАСТУХОВА Вікторія, ГОНЧАРЕНКО Ігор
Ефективність низьковуглеводної дієти для корекції фізичного стану жінок, які займаються фітнесом, залежно від віку та зросту 17

ЯНКО Роман
Гістоморфологічні особливості білої жирової тканини у щурів різного віку з вісцеральним ожирінням 23

ГЛОЖИК Ірина
Вплив інсулінорезистентності та інсулінорезистентності у поєднанні з йододефіцитом на тиреоїдний гомеостаз і взаємозв'язок між показниками ліпідного спектра та вмістом есенціальних біоелементів у крові щурів 29

ГАЛЕНОВА Тетяна, РАКША Наталія
Рівень матричних металопротеїназ у пацієнтів з ішемічним інсультом різної етіології 34

CONTENTS

DULO Olena, MIROSHNICHENKO Viacheslav, HEMA-BAHYNA Nataliia
Adaptational reactions to the dosed physical loads of females of different somatotypes of the mountain areas of Zakarpattia 5

KOVTUN-VODYANYTSKA Svitlana, LEVCHUK Iryna, GOLUBETS Olga, RAKHMETOV Dzhamal
Features of the phytochemical composition of *Thymus tauricus* (Lamiaceae) essential oil during the introduction in the forest-step of Ukraine 10

DOLHA Yana, PASTUKHOVA Viktoria, GONCHARENKO Ihor
Effectiveness of a low-carbohydrate diet for correction of the physical condition of women who are activating fitness, depending on age and height 17

YANKO Roman
Histomorphological features of white adipose tissue in rats of different ages with visceral obesity 23

GLOZHYK Iryna
Influence of insulin resistance and insulin resistance in combination with iodine deficiency on thyroid homeostasis and the relationship between lipid spectrum indicators and the content of essential bioelements in the blood of rats 29

HALENOVA Tetiana, RAKSHA Nataliia
Levels of matrix metalloproteinases in patients with ischemic stroke of different etiologies 34

УДК 612.017-055.25(23):611.9+613.73
DOI: https://doi.org/10.17721/1728.2748.2025.101.5-9

Олена ДУЛО, канд. мед. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0003-0473-5605
e-mail: olena.dulo@uzhnu.edu.ua
Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна

Вячеслав МІРОШНІЧЕНКО, д-р наук із фіз. вих. і спорту, доц.
ORCID ID: 0000-0003-1139-4554
e-mail: 29miroshnichenko@gmail.com
Маріупольський державний університет, Київ, Україна

Наталія ГЕМА-БАГИНА, канд. мед. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0001-5735-7041
e-mail: nataliia.hema-bahyna@uzhnu.edu.ua
Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна

АДАПТАЦІЙНІ РЕАКЦІЇ НА ДОЗОВАНІ ФІЗИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ДІВЧАТ РІЗНИХ СОМАТОТИПІВ ГІРСЬКИХ РАЙОНІВ ЗАКАРПАТТЯ

Вступ. ***Серед факторів, які лімітують функціональні можливості аеробної та анаеробної лактатної систем енергозабезпечення, серцево-судинна система відіграє провідну роль. Дані наукової літератури вказують на наявні відмінності у морфологічних і функціональних характеристиках серця й гемодинаміки у представників різних соматотипів. Отже, можна припустити, що і термінові адаптаційні реакції серцево-судинної системи на фізичні навантаження у представників різних соматотипів неоднакові.***

Методи. ***Обстежено 102 дівчини 16–20 років, які проживають у гірських районах Закарпатської області. Реакцію АТ вивчали після виконання двох велоергометричних навантажень потужністю 1 та 2 Вт на 1 кг маси тіла обстежуваних. Соматотип обстежених визначали за методом Хіт-Картера, який ґрунтується на антропометричних вимірюваннях (зріст, маса тіла, товщина шкірно-жирових складок, обхватні (обвідні) та поперечні розміри тіла).***

Результати. ***У дівчат, мешканок гірських районів Закарпаття, установлено чотири типи адаптаційних реакцій діастолічного АТ на дозовані велоергометричні навантаження: зниження щодо стану спокою, зниження до виникнення "феномена нескінченного тону", відсутність реакції та зростання АТ відносно стану спокою (початкового рівня). При цьому реакція, яка проявляється через зростання діастолічного АТ, уважається негативною. Для виникнення "феномена нескінченного тону" навантаження потужністю 1 Вт на 1 кг маси тіла було недостатньо, про що свідчить відсутність обстежуваних із такою реакцією. Збільшення навантаження до 2 Вт на 1 кг маси тіла спричинило виникнення цього феномена у представниць усіх соматотипів. При цьому найбільше таких випадків зафіксовано у представниць ендоморфного соматотипу (16,7 %), а найменше – у представниць ектоморфного соматотипу (6,7 %). Аналіз динаміки змін АТ під впливом дозованих фізичних навантажень виявив, що найбільший відсоток осіб зі зростанням діастолічного АТ після виконання роботи потужністю 1 Вт на 1 кг маси тіла спостерігався у представниць ектоморфного й мезоектоморфного соматотипів, а найменший – у представниць збалансованого соматотипу. Навантаження потужністю 2 Вт на 1 кг маси тіла викликало зростання діастолічного АТ найбільше у представниць ендоморфного соматотипу, а найменше – у представниць збалансованого соматотипу.***

Висновки. ***Виявлено відмінності реакції діастолічного АТ на дозовані фізичні навантаження у дівчат залежно від соматотипу. Вони характеризуються тим, що найвищий відсоток осіб із негативною реакцією діастолічного АТ на виконання дозованої фізичної роботи спостерігається у представниць ендоморфного соматотипу.***

Ключові слова: ***жіноча стать, фізичні навантаження, артеріальний тиск, гірський район.***

Вступ

Відомо, що фізичне здоров'я оцінюють за ступенем розвитку систем енергозабезпечення м'язової діяльності (Apanasenko, 2013; Kvashnina, 2000). Серед факторів, які лімітують функціональні можливості аеробної та анаеробної лактатної систем енергозабезпечення, серцево-судинна система відіграє провідну роль (Kenney, Wilmore, & Costill, 2015). Дані наукової літератури вказують на наявні відмінності у морфологічних і функціональних характеристиках серця та гемодинаміки у представників різних соматотипів. Приміром, А. Сарафинюк виявила особливості гемодинаміки у міських осіб юнацького віку з різними соматотипами. Були встановлені зв'язки показників варіабельності серцевого ритму із соматотипологічними параметрами тіла у практично здорових дівчат (Sergeta et al., 2017). Також були встановлені анатомічні й функціональні особливості серця у юнаків та дівчат різних соматотипів (Gunas, Maievs'kij, & Sarafiniuk, 2009). Таким чином, можна припустити, що і термінові адаптаційні реакції серцево-судинної системи на фізичні навантаженні у представників різних соматотипів неоднакові (Wu, & Ma, 2023).

На сьогодні активно вивчаються особливості аеробної та анаеробної продуктивності організму в осіб різних вікових груп і статі (Del Rosso, Nakamura, & Boullosa, 2017; Drachuk et al., 2018; Miroshnichenko, et al., 2019; Merdzhanova, Petrova, & Lalova, 2020; Dulo et al., 2023). Разом із тим, реакція артеріальних судин на фізичні навантаження досліджено фрагментарно і лише в окремих вікових групах. Наприклад, D. R. Young та його співавтори виявили зниження артеріального тиску після занять руховою активністю в осіб похилого віку. Але у цій публікації йдеться про довгостроковий "відставлений" адаптаційний ефект. У даному дослідженні нас цікавлять термінові адаптаційні реакції діастолічного артеріального тиску на фізичні навантаження.

Мета дослідження: встановити особливості термінових адаптаційних реакцій серцево-судинної системи за показником діастолічного артеріального тиску у дівчат різних соматотипів гірських районів Закарпаття.

© Дуло Олена, Мірошніченко Вячеслав, Гема-Багина Наталія, 2025

Методи

Обстежували дівчат 16–20 років, які проживають у гірських районах Закарпатської області кількістю 102 особи. Усі учасники за медичними показниками визнані здоровими та надали письмову згоду на участь. У дослідженні не брали участь особи, які мали досвід занять спортом і системних занять оздоровчими видами рухової активності, оскільки під впливом спортивних тренувань формується довгостроковий адаптаційний ефект, який впливає на процеси гемодинаміки. Також до участі у дослідженні не залучалися особи, індекс маси тіла яких був за межами норми, визначеної ВООЗ. Особливості адаптації до фізичних навантажень визначали за реакцією артеріального тиску (АТ) у процесі виконання велоергометричного тесту PWC_{170}. Для цього випробувані виконували два навантаження тривалістю 5 хв із частотою обертання педалей 60 об.·хв$^{-1}$. Відпочинок між навантаженнями становив 3 хв. Потужність першого навантаження – 1 Вт на кг маси тіла досліджуваної, а другого навантаження – 2 Вт на кг маси тіла досліджуваної (Mackenzie, 2005).

АТ визначали одразу після першого і другого навантаження. АТ вимірювали за допомогою сфігмоманометра ВАТМ-3В.

Соматотип обстежуваних визначали за методом Хіт-Картера (Carter, 2003). Цей метод ґрунтується на антропометричних вимірюваннях. Визначали зріст, масу тіла, товщину шкірно-жирових складок, обхватні (обвідні) та поперечні розміри тіла. Дана методика передбачає визначення компонентів соматотипу у балах із точністю до десятих: ендоморфії – відносного ожиріння; мезоморфії – відносного розвитку кістково-м'язової системи; та ектоморфії – відносної витягнутості тіла. За перевагою одного (або декількох) компонентів досліджуваних умовно розподіляли по групах за ознакою соматотипу. У зв'язку з тим, що критерієм виключення були особи, у яких індекс маси тіла не відповідав нормативним параметрам відповідно до критеріїв ВООЗ, і при цьому ендоморфний і ектоморфний соматотипи є менш поширеними серед жінок. Це обумовило значно меншу кількість обстежуваних у групах відповідних соматотипів.

Обрахунки отриманих експериментальних даних проведено із використанням електронних таблиць MS Excel.

Результати

Дослідивши реакції артеріальних судин на фізичні навантаження різної потужності, у дівчат гірських районів Закарпатської області виявили такі тенденції (табл. 1). Зниження діастолічного тиску після навантаження 1 Вт на 1 кг маси тіла, порівняно зі станом спокою, відбулося у 53,9 % обстежуваних. Збільшення потужності навантаження до 2 Вт на кг маси тіла збільшило кількість осіб із такою реакцією до 57,8 %.

Таблиця 1

Відсоткове співвідношення типів змін діастолічного артеріального тиску при дозованій фізичній роботі у дівчат гірських районів, n = 102

Потужність навантаження	Тип змін діастолічного артеріального тиску, M ± m							
	нижче вихідного рівня		дорівнює вихідному рівню		"феномен нескінченного тону"		вище вихідного рівня	
	к-ть осіб, %	ДАТ, мм рт. ст. M ± m	к-ть осіб, %	ДАТ, мм рт. ст. M ± m	к-ть осіб, %	ДАТ, мм рт. ст M ± m	к-ть осіб, %	ДАТ, мм рт.ст. M ± m
1 Вт·кг	53,9	63,8±0,89	38,2	74,9±1,13	–	–	7,8	81,3±1,99
2 Вт·кг	57,8	59,5±1,56	28,4	74,8±1,40	8,8	*	4,9	88,0±4,29

Примітка: * – числове значення не підлягає реєстрації.

Реакція, при якій діастолічний АТ не змінився після навантаження 1 Вт на 1 кг маси тіла, була виявлена у 38,2 % обстежуваних. Збільшення потужності навантаження до 2 Вт на 1 кг маси тіла сприяло зменшенню кількості осіб із такою реакцією до 28,4 %.

Зниження діастолічного АТ після навантаження може відбутися до рівня, коли фонендоскопом його неможливо встановити. Такий тип реакції прийнято називати "феноменом нескінченного тону" (Drachuk et al., 2018). Отримані дані свідчать, що навантаження потужністю 1 Вт на 1 кг маси тіла не викликало такої реакції, тоді як навантаження 2 Вт на 1 кг маси тіла викликало реакцію за типом "феномена нескінченного тону" у 8,8 % обстежуваних.

Зростання діастолічного АТ після навантаження потужністю 1 Вт на 1 кг маси тіла відбулося у 7,8 % обстежуваних. Збільшення потужності навантаження до 2 Вт на 1 кг маси тіла сприяло зменшенню кількості обстежуваних із такою реакцією до 4,9 % (табл. 1).

Дані про адаптаційні реакції діастолічного АТ на дозовані навантаження у дівчат, розподілених за соматотипом, наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Відсоткове співвідношення типів змін діастолічного артеріального тиску при дозованій фізичній роботі у дівчат гірських районів залежно від соматотипу, n = 102

Потужність навантаження	Тип змін діастолічного артеріального тиску, M ± m							
	нижче вихідного рівня		дорівнює вихідному рівню		"феномен нескінченного тону"		вище вихідного рівня	
	к-ть осіб, %	ДАТ, мм рт. ст M ± m	к-ть осіб, %	ДАТ, мм рт. ст. M ± m	к-ть осіб, %	ДАТ, мм рт. ст M ± m	к-ть осіб, %	ДАТ, мм рт. ст M ± m
Ендоморфи (n = 6)								
1 Вт·кг	50,0	60,0±8,37	33,3	75,0±5,92	–	–	16,7	75,0
2 Вт·кг	50,0	58,3±2,09	16,7	80,0	16,7	*	16,7	80,0
Ендомезоморфи (n = 25)								
1 Вт·кг	64,0	63,1±2,19	28,0	75,7±3,47	–	–	8,0	82,5±1,42
2 Вт·кг	60,0	59,6±2,36	28,0	75,7±3,47	8,0	*	4,0	92,5±1,42

Закінчення табл. 2

Потужність навантаження	Тип змін діастолічного артеріального тиску, M ± m							
	нижче вихідного рівня		дорівнює вихідному рівню		"феномен нескінченного тону"		вище вихідного рівня	
	к-ть осіб, %	ДАТ, мм рт. ст M ± m	к-ть осіб, %	ДАТ, мм рт. ст. M ± m	к-ть осіб, %	ДАТ, мм рт. ст M ± m	к-ть осіб, %	ДАТ, мм рт. ст M ± m
Мезоектоморфи (n = 14)								
1 Вт·кг	42,8	65,5±4,42	42,8	73,3±1,77	–	–	14,3	82,5±13,27
2 Вт·кг	49,9	60,0±1,51	35,7	74,0±2,15	7,1	*	7,1	100,0
Ектоморфи (n = 15)								
1 Вт·кг	46,7	63,6±2,27	46,7	67,1±3,02	–	–	6,7	90,0
2 Вт·кг	46,7	53,6±4,54	40,0	65,0±1,77	6,7	*	6,7	90,0
Збалансований соматотип (n = 42)								
1 Вт·кг	54,7	64,1±1,48	40,5	77,4±1,25	–	–	4,8	77,5±1,32
2 Вт·кг	64,2	59,4±1,56	23,8	80,0±1,77	9,5	*	2,4	80,0

Примітка: * – числове значення не підлягає реєстрації.

Приміром, найбільший відсоток осіб із такою реакцією при навантаженні 1 Вт на 1 кг маси тіла характерний для представниць ендомезоморфного соматотипу (64,0 %), а найменший – для представниць мезоектоморфного соматотипу (49,9 %). Найбільший відсоток осіб із такою реакцією при навантаженні 2 Вт на 1 кг маси тіла характерний для представників збалансованого соматотипу (64,2 %), а найменший – для представниць ектоморфного соматотипу (46,7 %).

Найбільший відсоток обстежуваних, у яких діастолічний АТ після виконання навантаження 1 Вт на 1 кг маси тіла не змінився, характерний для представниць ектоморфного соматотипу (46,7 %), а найменший – для представниць ендомезоморфного соматотипу (28,0 %).

Для виникнення "феномена нескінченного тону" навантаження потужністю 1 Вт на 1 кг маси тіла було недостатньо, про що свідчить відсутність обстежуваних із такою реакцією. Збільшення навантаження до 2 Вт на 1 кг маси тіла спричинило виникнення цього феномена у представниць усіх соматотипів. При цьому найбільше таких випадків зафіксовано у представниць ендоморфного соматотипу (16,7 %), а найменше – у представниць ектоморфного соматотипу (6,7 %).

Аналіз динаміки змін АТ під впливом дозованих фізичних навантажень виявив, що найбільший відсоток осіб із зростанням діастолічного тиску після виконання роботи потужністю 1 Вт на 1 кг маси тіла спостерігався у представниць ектоморфного та мезоектоморфного соматотипів (16,7 та 14,3 % відповідно), а найменший – у представниць збалансованого соматотипу (4,8 %). Навантаження потужністю 2 Вт на 1 кг маси тіла викликало зростання діастолічного АТ найбільше у представниць ендоморфного соматотипу (16,7 %), а найменше – у представниць збалансованого соматотипу (2,4 %).

Дискусія і висновки

Аналіз отриманих результатів виявив, що діастолічний АТ під час навантаження у дівчат гірських районів Закарпаття має чотири типи реакції: зниження відносно стану спокою, зниження до виникнення "феномена нескінченного тону", відсутність реакції та зростання відносно стану спокою. Перших три типи вважаються позитивною адаптаційною реакцією на велоергометричне фізичне навантаження, а реакція зростання діастолічного АТ – негативною. Зростання діастолічного тиску під час виконання динамічних фізичних навантажень сприяє зменшенню кількості крові, яка надходить до працюючих м'язів, негативно впливаючи на здатність виконувати фізичну роботу (Furman, 2003). При цьому дана кардіоваскулярна реакція не є шкідливою для здоров'я і не спричиняє довгострокових негативних наслідків для організму. Ряд дослідників уважають, що така реакція піддається корекції. З'ясовано, що під впливом оздоровчих тренувань силового характеру зростає кількість осіб, у яких діастолічний тиск при виконанні навантаження збільшується, а під впливом оздоровчих тренувань циклічними видами рухової активності – зменшується (Miroshnichenko, 2008). Також є дані про зменшення кількості осіб із негативною реакцією діастолічного АТ на динамічні навантаження під впливом занять бігом і плаванням (Furman et al., 2013). Отже нами встановлено, що серед дівчат 16–20 років, які проживають у гірській місцевості Закарпаття, негативну реакцію на дозовані фізичні навантаження мають лише 7,8 % осіб, а серед представниць різних соматотипів найбільшу схильність до такої реакції мають дівчата ендоморфного соматотипу (16,7 %). Слід зазначити, що серед дівчат, у яких виявлено зростання діастолічного тиску на навантаження 1 Вт на 1 кг маси тіла, збільшення потужності навантаження до 2 Вт на 1 кг маси тіла сприяє подальшому зростанню діастолічного тиску у представниць більшості соматотипів, окрім ектоморфного, у яких він залишається незмінним.

Збільшення потужності навантаження до 2 Вт на 1 кг маси тіла сприяє зменшенню кількості осіб із діастолічним тиском, що дорівнює вихідному рівню, за рахунок збільшення кількості тих, у кого спостерігається "феномен нескінченного тону".

У дівчат, мешканців гірських районів Закарпаття, установлено чотири типи адаптаційних реакцій діастолічного тиску на дозовані велоергометричні навантаження, при цьому, реакція, яка виявляється через зростання діастолічного тиску, уважається негативною. Виявлено відмінності реакції діастолічного АТ на дозовані фізичні навантаження у дівчат залежно від соматотипу. Вони характеризуються тим, що найвищий відсоток осіб із негативною реакцією діастолічного тиску на навантаження, спостерігається у представниць ендоморфного соматотипу.

З метою глибшого аналізу відмінностей адаптаційних реакцій артеріальних судин на дозовані фізичні навантаження різної потужності у дівчат гірських районів Закарпаття, слід здійснити порівняльну характеристику із представницями низинних районів, результати якої плануємо висвітлити у подільших публікаціях.

Внесок авторів: Олена Дуло – збір та обробка даних, написання статті; Вячеслав Мірошніченко – обговорення проблеми, концептуалізація, редагування статті; Наталія Гема-Багина – концептуалізація, методологія.

Список використаних джерел

Апанасенко, Г. Л. (2013). Вчення про індивідуальне здоров'я: Деякі підсумки. *Acta Medica Leopoliensia,* 19(1), 56–60.

Гунас, І. В., Маєвський, О. Є., & Сарафинюк, Л. А. (2009). Амплітудні й швидкісні показники руху мітрального й аортального клапанів серця та швидкість циркулярного вкорочення волокон міокарда лівого шлуночка в юнаків та дівчат різних соматотипів. *Науковий вісник Ужгородського університету: Серія: Медицина,* 35, 27–32.

Квашніна, Л. В. (2000). Поняття адаптації і адаптованість як інтегральний показник здоров'я. *Перинатологія та педіатрія,* 1, 33–36.

Мірошніченко В. М. (2008). *Застосування фізичних тренувань різного спрямування для вдосконалення фізичного здоров'я дівчат з урахуванням соматотипу* [Автореф. дис. канд. наук з фіз. виховання і спорту, Львівський держ ун-т фізичної культури].

Сарафинюк, Л. А. (2012). Розподіл типів гемодинаміки у міських осіб юнацького віку з різними соматотипами. *Вісник Вінницького національного медичного університету,* 16(2), 311–313.

Сергета, І. В., Гунас, І. В., Ковальчук, В. В., & Шипіцина, О. В. (2017). Особливості зв'язків показників варіабельності серцевого ритму з антропо-соматотипологічними параметрами тіла практично здорових дівчат з різними типами гемодинаміки. *Вісник морфології,* 23(2), 327–331.

Фурман Ю. М. (2003). *Корекція аеробної та анаеробної лактатної продуктивності організму молоді біговими навантаженнями різного режиму* [Автореф. дис. д-ра біол. наук, Київський національний ун-т імені Т. Шевченка].

Фурман, Ю. М., Мірошниченко, В. М., & Драчук, С. П. (2013). *Перспективні моделі фізкультурно-оздоровчих технологій у фізичному вихованні студентів вищих навчальних закладів*. Олімпійська література.

Carter, J. (2003). *The Heath-Carter anthropometric somatotype: Instruction manual*. Department of Exercise and Nutritional Sciences, San Diego State University.

Del Rosso, S., Nakamura, F. Y., & Boullosa, D. A. (2017). Heart rate recovery after aerobic and anaerobic tests: Is there an influence of anaerobic speed reserve? *Journal of Sports Sciences,* 35(9), 820–827. https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1166391

Drachuk, S., Bohuslavska, V., Pityn, M., Furman, Y., Kostiukevych, V., Gavrylova, N., Salnykova, S., & Didyk, T. (2018). Energy supply capacity when using different exercise modes for young 17–19-year-old men. *Journal of Physical Education and Sport,* 18(1), 246–254. https://doi.org/10.7752/jpes.2018.01033

Dulo, O., Furman, Y., Dotsiuk, L., & Shcherba, M. (2023). Physical health of females from the mountain districts of Zakarpattia according to the metabolic level of aerobic and anaerobic energy supply depending on the component body composition. *Polski Merkuriusz Lekarski,* 51(5), 521–526. https://doi.org/10.36740/Merkur202305111

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2015). *Physiology of sport and exercise* (6th ed.). Human Kinetics.

Mackenzie, B. (2005). *101 performance evaluation tests*. Electric Word plc. https://poruniskamab.github.io/download/101.pdf

Merdzhanova, E., Petrova, G., & Lalova, V. (2020). Analysis of adolescents' (11–14 years old) somatotype in Plovdiv, Bulgaria. *Journal of IMAB,* 26(1), 3005–3010. https://doi.org/10.5272/jimab.2020261.3005

Miroshnichenko, V., Salnykova, S., Bohuslavska, V., Pityn, M., Furman, Y., Iakovliv, V., Volodymyr, I., & Zoryana, S. (2019). Enhancement of physical health in girls of 17–19 years by adoption of physical loads taking their somatotype into account. *Journal of Physical Education and Sport,* 19(Suppl. 2), 387–392. https://doi.org/10.7752/jpes.2019.s2058

Wu, Y., & Ma, Z. (2023). Exercise intervention based on behavioral change theory: Influence on body morphology and body composition. *Alternative Therapies in Health and Medicine,* 29(1), 150–155.

Young, D. R., Appel, L. J., Lee, S., & Miller, E. R. (1999). The effects of aerobic exercise and T'ai Chi on blood pressure in older people: Results of a randomized trial. *Journal of the American Geriatrics Society,* 47(3), 277–284.

References

Apanasenko, G. L. (2013). The doctrine of individual health: Some conclusions. *Acta Medica Leopoliensia,* 19(1), 56–60 [in Ukrainian].

Carter, J. (2003). *The Heath-Carter anthropometric somatotype: Instruction manual*. Department of Exercise and Nutritional Sciences, San Diego State University.

Del Rosso, S., Nakamura, F. Y., & Boullosa, D. A. (2017). Heart rate recovery after aerobic and anaerobic tests: Is there an influence of anaerobic speed reserve? *Journal of Sports Sciences,* 35(9), 820–827. https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1166391

Drachuk, S., Bohuslavska, V., Pityn, M., Furman, Y., Kostiukevych, V., Gavrylova, N., Salnykova, S., & Didyk, T. (2018). Energy supply capacity when using different exercise modes for young 17–19-year-old men. *Journal of Physical Education and Sport,* 18(1), 246–254. https://doi.org/10.7752/jpes.2018.01033

Dulo, O., Furman, Y., Dotsiuk, L., & Shcherba, M. (2023). Physical health of females from the mountain districts of Zakarpattia according to the metabolic level of aerobic and anaerobic energy supply depending on the component body composition. *Polski Merkuriusz Lekarski,* 51(5), 521–526. https://doi.org/10.36740/Merkur202305111

Furman, Y. M. (2003). *Correction of aerobic and anaerobic lactate productivity of the body of young people by running loads of different regimes* (Unpublished doctoral dissertation) [Doctoral dissertation, National Academy of Sciences of Ukraine] [in Ukrainian].

Furman, Y. M., Miroshnichenko, V. M., & Drachuk, S. P. (2013). *Promising models of physical culture and health technologies in physical education of students of higher educational institutions*. Olympic Literature [in Ukrainian].

Gunas, I. V., Maievs'kij, O. I., & Sarafiniuk, L. A. (2009). Amplitude and velocity parameters of the movement of the mitral and aortic valves of the heart and the speed of circular shortening of the myocardial fibers of the left ventricle in boys and girls of different somatotypes. *Scientific Bulletin of Uzhgorod University: Series Medicine,* 35, 27–32 [in Ukrainian]

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2015). *Physiology of sport and exercise* (6th ed.). Human Kinetics.

Kvashnina, L. V. (2000). Concept of adaptation and adaptability as integral health indicator. *Perinatology and Pediatrics,* 1, 33–36 [in Ukrainian]

Mackenzie, B. (2005). *101 performance evaluation tests*. Electric Word plc. https://poruniskamab.github.io/download/101.pdf

Merdzhanova, E., Petrova, G., & Lalova, V. (2020). Analysis of adolescents' (11–14 years old) somatotype in Plovdiv, Bulgaria. *Journal of IMAB,* 26(1), 3005–3010. https://doi.org/10.5272/jimab.2020261.3005

Miroshnichenko, V. M. (2008). *The use of physical training of various directions to improve the physical health of girls taking into account the somatotype* (Unpublished doctoral dissertation). Lviv State University of Physical Culture [in Ukrainian].

Miroshnichenko, V., Salnykova, S., Bohuslavska, V., Pityn, M., Furman, Y., Iakovliv, V., Volodymyr, I., & Zoryana, S. (2019). Enhancement of physical health in girls of 17–19 years by adoption of physical loads taking their somatotype into account. *Journal of Physical Education and Sport,* 19(Suppl. 2), 387–392. https://doi.org/10.7752/jpes.2019.s2058

Sarafiniuk, L. A. (2012). Distribution of hemodynamic types in urban young people with different somatotypes. *Bulletin of Vinnytsia National Medical University,* 16(2), 311–313 [in Ukrainian].

Sergeta, I. V., Gunas, I. V., Kovalchuk, V. V., & Shipitsyna, O. V. (2017). Peculiarities of the relationship between heart rate variability indicators and anthropo-somatotypological body parameters of practically healthy girls with different types of hemodynamics. *Bulletin of Morphology,* 23(2), 327–331 [in Ukrainian].

Wu, Y., & Ma, Z. (2023). Exercise intervention based on behavioral change theory: Influence on body morphology and body composition. *Alternative Therapies in Health and Medicine,* 29(1), 150–155.

Young, D. R., Appel, L. J., Lee, S., & Miller, E. R. (1999). The effects of aerobic exercise and T'ai Chi on blood pressure in older people: Results of a randomized trial. *Journal of the American Geriatrics Society,* 47(3), 277–284.

Отримано редакцією журналу / Received: 20.03.25
Прорецензовано / Revised: 27.04.25
Схвалено до друку / Accepted: 29.05.25

Olena DULO, PhD (Med.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-0473-5605
e-mail: olena.dulo@uzhnu.edu.ua
Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

Viacheslav MIROSHNICHENKO, PhD (Physical Education and Sports), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-1139-4554
e-mail: 29miroshnichenko@gmail.com
Mariupol State University, Kyiv, Ukraine

Nataliia HEMA-BAHYNA, PhD (Med.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0001-5735-7041
e-mail: nataliia.hema-bahyna@uzhnu.edu.ua
Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

ADAPTATIONAL REACTIONS TO THE DOSED PHYSICAL LOADS OF FEMALES OF DIFFERENT SOMATOTYPES OF THE MOUNTAIN AREAS OF ZAKARPATTIA

Background. ***Among the factors that limit the functional capabilities of the aerobic and anaerobic lactate energy supply systems, the cardiovascular system has a leading role. Data from the scientific literature indicate the existing differences in the morphological and functional characteristics of the heart and hemodynamics in representatives of different somatotypes. Therefore, it can be assumed that the immediate adaptive reactions of the cardiovascular system to physical exertion in representatives of different somatotypes are also different.***

Methods. ***102 girls aged 16-20 living in the mountainous areas of the Zakarpattia region were studied. The blood pressure response was studied after performing two bicycle ergometric loads with a power of 1 W and 2 W per 1 kg of the subject's body weight. The somatotype of the subjects was determined by the Heath-Carter method, which is based on anthropometric measurements (height, body mass, skin-fat fold thickness, girth (circumferential), and transverse body dimensions).***

Results. ***In females living in the mountainous areas of Zakarpattia, four types of adaptive reactions of diastolic blood pressure to the dosed bicycle ergometric loads were established: a decrease relative to the resting state, a decrease to the occurrence of the "phenomenon of infinite tone", the absence of a reaction and an increase in blood pressure relative to the resting state (initial level). At the same time, the reaction manifested by an increase in diastolic blood pressure is considered negative. For the occurrence of the "phenomenon of infinite tone", a load of 1 W per 1 kg of body weight was not enough, as evidenced by the absence of subjects with such a reaction. An increase in the load to 2 W per 1 kg of body weight caused the occurrence of this phenomenon in representatives of all somatotypes. At the same time, the largest number of such cases was recorded in representatives of the endomorphic somatotype (16.7%), and the smallest number was recorded in representatives of the ectomorphic somatotype (6.7 %). Analysis of the dynamics of changes in blood pressure under the influence of dosed physical activity revealed that the highest percentage of individuals with an increase in diastolic blood pressure after performing work with a power of 1 W per 1 kg of body mass was observed in representatives of the ectomorphic and mesoectomorphic somatotypes, and the lowest - in representatives of the balanced somatotype. Load with a power of 2 W per 1 kg of body weight caused an increase in diastolic blood pressure most in representatives of the endomorphic somatotype, and the lowest - in representatives of the balanced somatotype.***

Conclusions. ***Differences in the response of diastolic blood pressure to the dosed physical activity in females were found depending on the somatotype. They are characterized by the fact that the highest percentage of individuals with a negative reaction of diastolic blood pressure to performing dosed physical activity is observed in representatives of the endomorphic somatotype.***

Keywords: ***female sex, physical loads, blood pressure, mountainous area.***

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The author declares no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

УДК 543.544.3:665.525:615.322
DOI: https://doi.org/10.17721/1728.2748.2025.101.10-16

Світлана КОВТУН-ВОДЯНИЦЬКА[1], канд. біол. наук
ORCID ID: 0000-0002-2367-461X
e-mail: catta-s@ukr.net

Ірина ЛЕВЧУК[2], канд. техн. наук
ORCID ID: 0000-0002-9337-8816
e-mail: iryna.levchuk.v@gmail.com

Ольга ГОЛУБЕЦЬ[2], канд. с.-г. наук
ORCID ID: 0000-0002-6840-4955
e-mail: golubetsolga@ukr.net

Джамал РАХМЕТОВ[1], д-р біол. наук, проф., чл.-кор. НАН України
ORCID ID: 0000-0001-7260-3263
e-mail: rjb2000.16@gmail.com

[1] Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України, Київ, Україна
[2] Науково-дослідний центр випробувань продукції ДП "УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ", Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ФІТОХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЕФІРНОЇ ОЛІЇ *THYMUS TAURICUS* (LAMIACEAE) ЗА ІНТРОДУКЦІЇ У ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

В с т у п . ***Натуральні ефірні олії (ЕО) мають широкий спектр використання і на сьогодні користуються високим попитом на світовому ринку. Для розширення вітчизняного асортименту ефіроолійних видів рослин та заміни вимушеного імпорту сировини необхідним є дослідження видів рослин, насамперед аборигенної флори, добір кращих для інтродукційних досліджень і культивування. На території України інтродукція ефіроолійних видів рослин з урахуванням кліматичної мінливості дозволяє розглядати центральні та північні регіони, не обмежуючись південними.***

У цій роботі ми мали за мету дослідити ефіроолійність виду Thymus tauricus Klokov & Des.-Shost. (Lamiaceae), інтродукованого в умовах Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України (Правобережний Лісостеп) та окреслити перспективи практичного використання як сировинної культури.

М е т о д и . ***У лабораторних дослідженнях використано надземну частину Th. Tauricus. Заготівлю сировини проведено у фазу квітування рослин. ЕО виділено методом гідродистиляції. Аналіз компонентного складу ЕО – методом газової хроматографії з мас-спектрометричним детектуванням (ГХ-МС).***

Р е з у л ь т а т и . ***Уміст ЕО у надземній частині Th. tauricus становить 1,91–2,66 %. У ній виявлено й ідентифіковано 70 сполук. Домінантними є ліналілацетат (19,6 %), ліналоол (18,3 %), α-терпінил ацетат (13,4 %), карвакрол (12,4 %), р-Цимен (4,2 %) та інші. Дані сполуки виявляють різнобічну фармакологічну дію на організм людини, зокрема антиоксидантну, протизапальну, антидіабетичну, противірусну, протипухлинну, антибактеріальну тощо. Виявлено, що Th. tauricus притаманна внутрішньовидова фітохімічна варіація, що вказує на окремий метаболічний тип інтродукованих рослин.***

В и с н о в к и . ***За результатами експериментальної роботи встановлено, що в запропонованих нових умовах зростання Th. tauricus є перспективним інтродуцентом ефіроолійного напряму використання. Фітохімічний склад ЕО рослин цього виду містить біологічно активні сполуки, відомі своїми фармакологічними властивостями, корисними для організму людини, що обумовлює використання Th. tauricus у біохімічних, екологічних дослідженнях, селекційній роботі та на практиці – у різних вітчизняних галузях.***

К л ю ч о в і с л о в а : ***Thymus tauricus, інтродукція, ефірна олія, газова хроматографія, метаболічний тип.***

Вступ

Інтродукція рослин сприяє збільшенню числа видів, придатних до вирощування у тих чи інших регіонах. Цікавими з наукової позиції й перспективними з практичної, є ефіроносні види рослин, які продукують запашні леткі речовини – ефірні олії (ЕО).

На сьогодні у світі спостерігається стійка тенденція зростання виробництва і споживання натуральних ЕО. Їх найбільше використовують у харчовій галузі та косметологічній індустрії, також для забезпечення потреб у виготовленні засобів особистої гігієни, для спа-процедур, створення умов для релаксації. Завдяки відсутності суттєвих побічних ефектів ЕО затребувані у фармацевтичній та медичній сферах (Busines Research Insights, 2024).

Ефіроолійна промисловість охоплює процеси вирощування, переробки та використання сировини ефіроносних рослин з метою отримання натуральних ЕО. Зростання попиту на ЕО стимулює розширення видового асортименту рослин-ефіроносів як джерела сировини, збільшення масштабів їх вирощування. З економічного погляду ця промислова галузь є однією із високорентабельних сфер сучасного економічного розвитку. За підрахунками експертів, ринок виробництва ЕО у 2023 р. досяг 8,41 млрд доларів США, а до кінця 2031 р. досягне 13,91 млрд. На сьогодні лідируючу позиції на світовому ринку ЕО займає Європа і залишається найбільшим імпортером (Market Research Report, 2024). У той же час українські виробники натуральних ЕО, на жаль, нечисленні, мають обмежений асортимент сировини і у більшості випадків залежні від імпортованої. Тому розширення вітчизняного асортименту ефіроолійних рослин матиме позитивний вплив на вирішення даного питання.

Природні умови України сприятливі для вирощування ефіроолійних видів рослин. Попри стійкі тен-

© Ковтун-Водяницька Світлана, Левчук Ірина, Голубець Ольга, Рахметов Джамал, 2025

ISSN 1728-3817 (Print), ISSN 2308-8036 (Online)

денції кліматичної мінливості у світі, Україна не входить до переліку найуразливіших до потепління регіонів, проте певні зміни все ж спостерігаються. Помічається зростання посушливих періодів улітку, особливо на півдні країни, недостатня кількість опадів, понаднормові температурні показники протягом року. За сучасних кліматичних умов інтродукція рослин аборигенної та зарубіжної флори, їхні комплексні дослідження, селекційна робота сприяють формуванню вітчизняної сировинної бази ефіроносів. Їхнє вирощування перспективне не лише у південних регіонах країни, а й у центральних і північних областях (Рахметов та ін., 2024).

Метою даної роботи є дослідження якісного складу ефірної олії одного із представників флори України – чебрецю кримського *Thymus tauricus* Klokov & Des.-Shost. (Lamiaceae) за інтродукції в умовах Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України (НБС) (Правобережний Лісостепу) та окреслити перспективи практичного використання цієї як культури як сировинної.

Огляд літератури. *Th. tauricus* за життєвою формою є багаторічним сланким карликовим напівчагарником, що притаманний помірному біому. Природній ареал рослин цього виду зосереджений на півострові Крим та у північно-західній частині Кавказу (Крицька, 2014; Royal Botanic Gardens Kew, 2025). Уважається ендеміком Криму. У гірській частині Криму трапляється у верхньому поясі, на південних схилах, надаючи перевагу відслоненням вапняків, мергелів, доломітів (Дідух, & Соколенко, 2014). Надземна частина рослин має надзвичайно потужний приємний аромат завдяки вмісту ЕО. *Th. tauricus* здавна використовується місцевим населенням, має позитивні фармакологічні характеристиками. Саме тому, мабуть, цю рослину зображено на гербі Кримської медичної академії (Фуклева, 2016; Красиленко, 2019; Фуклева, & Гречана, 2018).

Сучасних наукових досліджень *Th. tauricus* украй мало, але оприлюднені відомості привертають увагу до цього виду рослин як перспективного об'єкта (Фуклева, 2016; Fukleva, 2021; Ковтун-Водяницька, 2020; Tevfik, & Yegorova, 2021).

З медичної позиції надземна частина *Th. tauricus* має широкий спектр фармакологічного впливу на організм людини. Зокрема, протизапальну, протимікробну, протигрибкову, ранозагоювальну, антиоксидантну дії (Фуклева, 2014). Використовується для лікування захворювань травних органів і печінки, виразки шлунку, сечостатевих органів; гострих та хронічних інфекцій дихальних шляхів, опіків, вегетосудинної дистонії, глистяних інвазій. Це пояснюється, насамперед, наявністю ЕО у надземній частині *Th. tauricus* як багатокомпонентної суміші біологічно активних сполук. Завдяки ЕО *Th. tauricus* має високу активність стосовно штамів патогенних грибів роду *Candida*, а також бактерій *Staphylococcus aureus*, *St. pyogenes*, *Bacillus anthracoides*, *Escherichia coli* (Фуклева, 2016). Також у надземній частині рослин виявлено 15 основних макро- та мікроелементів, які важливі для здоров'я людини. Їхній уміст у загальній біомасі вищий під час фази бутонізації рослин порівняно із квітуванням: K – 3,64 мг/г; Ca – 1,27; Na – 0,74; Mg – 1,39; P – 0,66; Mn – 0,20; Fe – 0,48; Zn – 0,04 мг/г та інші (Фуклева, 2018). Досліджено, що сировина збагачена флавоноїдами (до 2,63%) і гідроксикоричними кислотами (до 0,38 %). Було виявлено та ідентифіковано еріоцитрин, лютеолін, лютеолін-7-O-β-D-глікозид, апігенін-7-O-β-D-глікозид, апігенін, кафтарову, хлорогенову, ферулову та розмаринову кислоти; а також зв'язані (12,01 %) та вільні (2,65 %) амінокислоти, аскорбінову кислоту (0,55 %), каротиноїди (27,09 мг %), хлорофіл a (2,01 мг %) та хлорофіл b (6,03 мг %), дубильні речовини, сахариди та інші (Фуклева, 2014, 2016; Fukleva, 2021; Mazulin et al., 2023).

У НБС *Th. tauricus* інтродукований у 2013 р. садивним матеріалом, наданим професором Д. Б. Рахметовим після експедиції до АР Крим. Наразі рослини даного виду зростають у складі наукової колекції відкритого ґрунту "Нетрадиційні ефіроносні рослини" відділу культурної флори. За інтродукції у НБС *Th. tauricus* виявився доволі адаптованим видом рослин: добре зимує, має тривалий період квітування – зазвичай, з першої декади червня і до кінця липня. Рослини активно відвідуються комахами-запилювачами, зокрема бджолами та джмелями. Під час затяжних спекотних періодів улітку *Th. tauricus* може скорочувати період квітування, частково підсихати, інколи випадати. Плодів практично не формує, проте гарно розмножується вегетативним способом. В осінній вологий і теплий період спостерігається активне наростання надземної вегетативної частини рослин, іноді окремі пагони мають пізнє квітування. За результатами первинної інтродукції *Th. tauricus* є перспективним об'єктом подальших комплексних досліджень (Ковтун-Водяницька, 2020).

Методи

В експериментальному дослідженні було використано надземну частину *Th. tauricus,* без здерев'янілих фрагментів пагонів, зібрану у фазу квітування рослин. Вегетативну масу подрібнено і доведено до повітряно-сухого стану у дегідраторі *Eridri ULTRA FD1000 за температури 32–34 °C.*

*ЕО отримано методом гідродистиляції із використанням насадки Клевенджера відповідно до методики ДФУ (*Державна фармакопея, 2015). *Уміст ароматичних компонентів установлено* за допомогою газового хроматографа Agilent Technologies 7890, їх хроматографічний профіль – на газовому хроматографі з мас-спектрометричним детектором "Hewlett Packard 6890", США. Для ідентифікації компонентів ЕО використано бібліотеку мас-спектру NIST у комплексі із програмами ідентифікації за часом утримання компоненту AMDIS.

Результати

У процесі експериментальної роботи встановлено, що вміст ЕО у надземній частині інтродукованих рослин *Th. tauricus* у фазу масового квітування становить 1,91–2,66 % у перерахунку на масу сухої речовини. Отримані показники вмісту ЕО високі та свідчать про інтенсивність біосинтезу ЕО дослідними рослинами. ЕО *Th. tauricus* за консистенцією масляниста на дотик рідина, виразного жовтого кольору, із приємним потужним ароматом (рис. 1).


a


b


c

Рис. 1: a – *Thymus tauricus* Klokov & Des.-Shost. за інтродукції у Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка НАН України (фрагмент ділянки); b – колонка апарату Клевенджера з олієводними фазами екстракту при експериментальному виділенні ефірної олії із сировини (стоп-кадр); c – зразок сировини та ефірної олії у віалі

За підсумком хроматографування ЕО, *Th. tauricus* виявлено та ідентифіковано 70 сполук (табл. 1), установлено хроматографічний профіль (рис. 2).

Таблиця 1

Хімічні компоненти ефірної олії *Thymus tauricus* Klokov & Des.-Shost., інтродукованого у Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка НАН України

№ п/п	Час утримання, хв	Кількісний вміст, %	Назва компоненту (сполуки)
1.	8,171	0,008	трицикл α-пінен
2.	8,317	0,138	α-туєн
3.	8,821	0,427	α-пінен
4.	9,475	0,003	туя-2,4(10)-дієн
5.	9,938	0,238	камфен
6.	11,676	0,146	сабінен
7.	12,122	0,303	1-октен-3ол
8.	12,640	0,609	β-пінен
9.	12,946	0,066	2-метилгептенон
10.	13,175	0,428	мірцен
11.	14,082	0,208	α-фелландрен
12.	15,464	0,113	3-карен
13.	16,211	1,155	α-терпінен
14.	16,686	4,220	р-цимен
15.	16,914	1,063	лімонен
16.	17,075	0,097	β-фелландрен
17.	17,463	0,003	о-цимен
18.	17,804	0,076	β-оцимен (Е)
19.	18,671	0,545	цис-сабінен гідрат
20.	19,608	0,041	цис-ліналоол оксид (фураноід)
21.	20,987	0,002	транс-ліналоол оксид (фураноід)
22.	22,322	18,349	ліналоол
23.	24,643	0,013	камфора
24.	24,934	1,511	ментон
25.	25,325	0,530	борнеол
26.	25,805	1,392	транс-ізопулегон
27.	25,855	1,330	терпінен-4-ол
28.	26,119	0,997	лімонен-4-ол
29.	26,758	0,104	ментол
30.	26,816	0,401	α-терпінеол
31.	27,860	0,001	пулегон
32.	27,989	0,149	карвон
33.	28,247	0,295	нераль
34.	28,679	9,942	метиловий ефір тимолу
35.	29,102	19,593	ліналілацетат
36.	29,574	2,064	хразантенілацетат
37.	29,634	0,668	гераніаль
38.	29,905	0,016	борнілацетат

ISSN 1728-3817 (Print), ISSN 2308-8036 (Online)

Закінчення табл. 1

№ п/п	Час утримання, хв	Кількісний вміст, %	Назва компоненту (сполуки)
39.	30,088	0,808	p-цимен-7-ол
40.	30,713	12,385	карвакрол
41.	31,116	13,387	α-терпінілацетат
42.	32,104	0,136	α-кубебене
43.	32,371	0,062	тимолу ацетат
44.	32,448	0,034	евгенол
45.	32,702	0,029	піперитенон оксид
46.	32,966	0,611	непеталактон
47.	33,143	0,114	карвакролу ацетат
48.	33,268	0,055	α-іланген
49.	33,548	0,124	β-бурбонен
50.	33,803	0,037	β-кубубене
51.	34,248	1,714	β-елемен
52.	34,390	0,005	метилевгенол
53.	34,457	0,048	каріофіллен(Z)
54.	35,174	0,092	α-бергамотен
55.	35,295	0,092	каріофіллен (E)
56.	35,568	0,019	β-копаїн
57.	35,870	0,647	аромадендрен
58.	36,091	0,078	β-фарнензен (Z)
59.	36,238	0,207	гумулен
60.	36,479	1,047	β-фарнезен (E)
61.	36,768	0,169	цис-муурола-4(14),5-дієн
62.	36,855	0,062	γ-мууролен
63.	37,227	0,039	гермакрен D
64.	37,693	0,035	біциклогермакрен
65.	38,088	0,004	z-мууролен
66.	38,339	0,158	гермакрен A
67.	38,484	0,460	спатуленол
68.	38,756	0,022	каріофілен оксид
69.	39,002	0,012	1,10-ді-епі-кубенол
70.	39,201	0,065	z-кадинол
Загалом: 100			

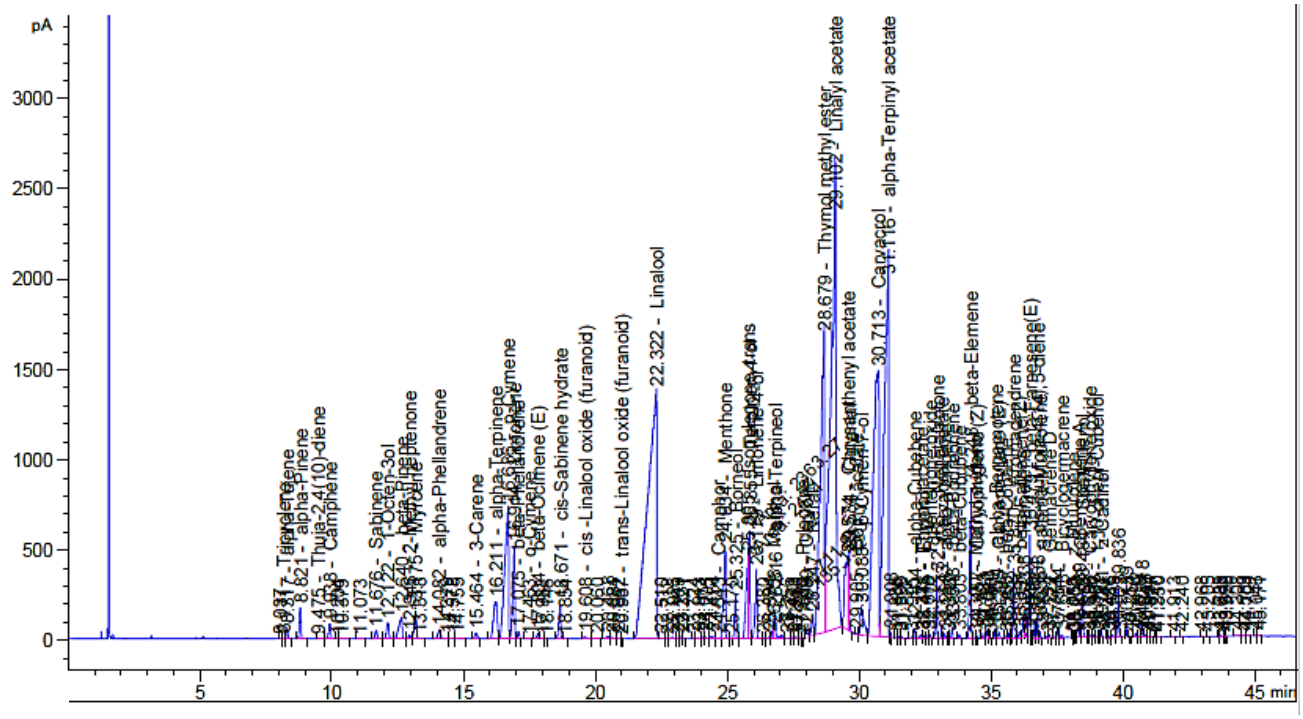


Рис. 2. Хроматографічний профіль ефірної олії *Thymus tauricus* Klokov & Des.-Shost

Дискусія і висновки

Проведено експериментальне дослідження надземної частини рослин *Th. tauricus,* інтродукованого у ґрунтово кліматичні умови НБС. Установлено якісний вміст ЕО у сировині, її хімічний склад і дольову частку кожного компоненту. З огляду на кількісний вміст виявлених біологічно активних сполук домінують ліналіл ацетат (19,6 %), ліналоол (18,3 %), α-терпінил ацетат (13,4 %), карвакрол (12,4 %), ρ-цимен (4,2 %) тощо.

Порівняння отриманих результатів із даними, оприлюдненими Л. Фуклевою, дозволило виявити відмінності у кількісному вмісті та хімічному складі ЕО у зразках *Th. tauricus,* різних за регіоном походження. Сировина рослин *Th. tauricus*, з якою працювала Л. Фуклева, зібрана на території АР Крим (м. Севастополь). Вміст ЕО у сировині *Th. tauricus* кримського походження становить понад 3 %, у її складі виявлено 64 компоненти, із яких 32 ідентифіковані. Домінантними серед них є тимол (39,7 %), ρ-цимол (19,7 %), карвакрол (7,6 %), γ-терпінен (4,5 %), β-каріофілен (3,7 %), камфора (2,6 %), ліналоол (2,5 %) (Фуклева, 2016).

Вочевидь, що інтродуковані у НБС рослини *Th. tauricus* мають менший вміст ЕО, але більш чисельний компонентний склад та інші домінуючі сполуки. Це свідчить про те, що в експерименті ми мали справу з іншим хімічним фенотипом (хемотипом) рослин *Th. tauricus*, якому притаманний власний перебіг метаболічних процесів, зумовлений ґрунтово-кліматичними умовами зростання. Такі особливості компонентного складу загального пулу ефірної олії одного виду рослин розглядаються як фенотиповий (хемотип) прояв метаболічних процесів, що характеризуються специфічним вмістом хімічних речовин у його складі (Clancy et al., 2018).

Відмінності метаболічних процесів, їхнє хеморізноманіття в межах виду рослин, становить неабиякий інтерес у науковців як необхідна ланка у комплексному дослідженні питання стійкості рослин та забезпечення сталості екосистем (Müller, Robert, & Junker, 2022). Метаболічні процеси рослин є визначальним явищем в їхній адаптації до умов середовища (Rivas-Ubach et al., 2025), особливо за наявності кліматичних кризових ситуацій; а вторинні метаболіти відіграють у цих біохімічних трансформаціях роль специфічних маркерів (Keefover-Ring, 2022).

Із практичного погляду фітохімічний склад ЕО *Th. tauricus*, інтродукованого в НБС, обумовлює перспективність застосування рослинної сировини даного виду, оскільки виявлені домінантні сполуки є унікальними та специфічними для даної грунтово-кліматичної зони і можуть бути використані з різноплановою фармакологічною метою на організм людини. Ліналоол та його основний компонент ліналілацетат має антигіпертензивні, антидіабетичні, нейропротекторні, протизапальні та антиоксидантні властивості, завдяки яким вони потенційно здатні запобігати легким когнітивним порушенням (Seo et al., 2021; Shin, & Seol, 2023). Однак потрібно враховувати, що продукти окислення ліналоолу і ліналілацетату можуть бути потенційними алергенами (Kozuharova, 2023). α-терпінил ацетат містить терапевтичний потенціал і сприяє полегшенню перебігу хвороби Альцгеймера (Chowdhury, & Kumar, 2020), виявляє фітотоксичну дію і антимікробний ефект, уважається перспективною сполукою для розробки профілактичних засобів (ліків) від мікозу (Vaičiulytė et al., 2021). Карвакрол на сьогодні є сполукою з найвищою антимікробною активністю серед інших летких сполук, які трапляються у рослинних ЕО, а також виявляє антиоксидантні, протипухлинні властивості (Sharifi-Rad et al., 2018); його широко використовують у харчових продуктах для надання смаку, також як натуральний консервуючий агент (Mondal et al., 2021). ρ-цимен має численні фармакологічні властивості, зокрема антиоксидантну, протизапальну, протипаразитарну, антидіабетичну, противірусну, протипухлинну, антибактеріальну та протигрибкову дії, може діяти як анальгетик, імуномодулюючий, судинорелаксуючий і нейропротекторний компонент тощо (Balahbib et al., 2021).

Отже, проведені дослідження фітохімічного складу ефірної олії *Thymus tauricus*, інтродукованого НБС імені М. М. Гришка НАН України, показали перспективність використання надземної частини як ефіроолійної сировини для збільшення асортименту лікарських засобів рослинного походження. Завдяки природним процесам внутрішньовидової фітохімічній варіації та роботі селекціонерів з'являтимуться нові підвиди, сорти та хемотипи у межах видів роду Thymus. Наявність потужного комплексу біологічно активних речовин (більше 70) з бактерицидною, протигрибковою, противірусною, імуномодулюючою, антиоксидантною, протизапальною та іншими видами біологічної активності надає актуальності вивчення їхнього хімічного складу та фармакологічних властивостей для широкого використання в різних галузях.

Внесок авторів: Світлана Ковтун-Водяницька – аналіз джерел, підготовка огляду літератури, отримання даних, написання і редагування статті; Ірина Левчук – методологія, валідація даних; Ольга Голубець – отримання даних; Джамал Рахметов – концептуалізація.

Список використаних джерел

Державна фармакопея України: в 3 т. (2015). (2-е вид., Т. 1). ДП "Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів".

Дідух, Я. П., & Соколенко, У. М. (2014). Екологічна диференціація біотопів Карабі-Яйли (Гірський Крим). *Український ботанічний журнал*, 71(2), 127–139.

Ковтун-Водяницька, С. М. (2020). Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників. У О. О. Непочатенко, В. П. Карпенко, А. Ф. Балабак (Ред.), *Малопоширені чебреці: Thymus tauricus* Klokov ex Des.-Shost., *Thymus sibthorpii* Benth., *Thymus mongolicus* (Ronniger) Ronniger, *інтродуковані в умови Правобережного Лісостепу України* (с. 88–90). ВПЦ "Візаві".

Красиленко, Ю. (2019). П'янкий вітер Середземномор'я: Каперці, ялівець, чебрець, полин та шафран у кулінарії. https://yizhakultura.com/material/20190817_2313

Крицька, Л. І. (2014). Типіфікація видів судинних рослин, описаних із України: Родина Lamiaceae (рід *Thymus*). *Український ботанічний журнал*, 71(3), 301–307.

Рахметов, Д. Б., Ковтун-Водяницька, С. М., Бондарчук, О. П., & Нікішова, Н. В. (2024). *Фундаментальні аспекти адаптації нових культур в Україні*. НАН України, НБС імені М.М. Гришка.

Фуклева, Л. А. (2014). Фармакогностичне дослідження чебрецев звичайного та кримського та отримання субстанцій на їх основі [Автореф. дис. канд. фармацевт. наук, Запорізький держ. мед. ун-т.].

Фуклева, Л. А. (2016). Комплексне дослідження перспективного виду роду *Thymus* L. флори України чебрецю кримського. У Л. А. Фуклева (Ред.). *Науково-технічний прогрес і оптимізація технологічних процесів створення лікарських препаратів* (с. 72–73). ТДМУ.

Фуклева, Л. А., & Гречана, О. В. (2018). Дослідження елементного складу у траві чебрецю кримського півдня України. У Л. А. Фуклева, & О. В. Гречана (Ред.), *Лікарське рослинництво: Від досвіду минулого до новітніх технологій* (с. 219–222). Комунальне видавництво "Лубни".

Balahbib, A., El Omari, N., El Hachlafi, N., Lakhdar, F., El Menyiy, N., Salhi, N., Naceiri Mrabti, H., Bakrim, S., Zengin, G., & Bouyahya, A. (2021). Health beneficial and pharmacological properties of p-cymene. *Food and Chemical Toxicology*, 153, Article 112259. https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112259

Busines Research Insights. (2024). Isolate essential oil market report overview. https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/isolate-essential-oil-market-110084

Chowdhury, S., & Kumar, S. (2020). Alpha-terpinyl acetate: A natural monoterpenoid from *Elettaria cardamomum* as multi-target directed ligand in Alzheimer's disease. *Journal of Functional Foods*, 68, Article 103892. https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103892

Clancy, M. V., Zytynska, S. E., Moritz, F., Witting, M., Schmitt-Kopplin, P., Weisser, W. W., & Schnitzler, J. P. (2018). Metabotype variation in a field population of tansy plants influences aphid host selection. *Plant, Cell & Environment*, 41(12), 2791–2805. https://doi.org/10.1111/pce.13407

Fukleva, L. (2016). A complex chemical composition study for *Thymus tauricus* a prospective medicinal species of Ukrainian flora. In L. Fukleva (Ed.), *Plants in Pharmacy & Nutrition: Book of abstracts* (p. 76). Wroclaw Medical University.

Fukleva, L. A. (2021). Investigation of ascorbic acid accumulation in plant raw materials *Thymus tauricus* Klok. et Shost. *Modern Scientific Researches*, 16(1), 94–97. https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-025

Keefover-Ring, K. (2022). The chemical biogeography of a widespread aromatic plant species shows both spatial and temporal variation. *Ecology and Evolution*, 12(9), Article 9265. https://doi.org/10.1002/ece3.9265

Kozuharova, E., Simeonov, V., Batovska, D., Stoycheva, C., Valchev, H., & Benbassat, N. (2023). Chemical composition and comparative analysis of lavender essential oil samples from Bulgaria in relation to the pharmacological effects. *Pharmacia*, 70(2), 395–403. https://doi.org/10.3897/pharmacia.70.e104404

Market Research Report. (2024). Essential oil extraction market – 2024–2031. https://www.giiresearch.com/report/dmin1448047-essential-oil-extraction-market.html

Mazulin, O. V., Fukleva, L. A., Steshenko, Y. M., Mazulin, G. V., Salii, O. O., & Puchkan, L. O. (2023). Study of carotenoids and chlorophylls content in *Thymus* L. essential oils genus species at the reproductive period. *Pharmaceutical Journal*, 78(6), 104–113.

Mondal, A., Bose, S., Mazumder, K., & Khanra, R. (2021). Carvacrol (*Origanum vulgare*): Therapeutic properties and molecular mechanisms. In D. Pal & A. K. Nayak (Eds.), *Bioactive natural products for pharmaceutical applications* (pp. 347–366). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54027-2_13

Müller, C., Robert, R., & Junker, R. R. (2022). Chemical phenotype as important and dynamic niche dimension of plants. *New Phytologist*, 234(4), 1168–1174. https://doi.org/10.1111/nph.18075

Rivas-Ubach, A., Aranda, I., Sardans, J., Liu, Y., & Peñuelas, J. (2025). An outline on the chemical phenotype flexibility of forest species: An eco-metabolomics study of *Pinus uncinata* along an altitudinal gradient. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 66, Article 125844. https://doi.org/10.1016/j.ppees.2024.125844

Royal Botanic Gardens Kew. (2025). *Thymus tauricus* Klokov & Des.-Shost. https://powo.science.kew.org/results?q=thymus%20tauricus

Seo, E., Shin, Y. K., Hsieh, Y. S., Lee, J.-M., & Seol, G. H. (2021). Linalyl acetate as a potential preventive agent against muscle wasting in rheumatoid arthritis rats chronically exposed to nicotine. *Journal of Pharmacological Sciences*, 147(5), 157–165. https://doi.org/10.1016/j.jphs.2021.05.003

Sharifi-Rad, M., Varoni, E.-M., Iriti, M., Martorell, M., Setzer, W. N., del Mar Contreras, M., Salehi, B., Soltani-Nejad, A., Rajabi, S., Tajbakhsh, M., Bagherniya, M., Askari, G., Sahebkar, A., Battino, M., Atanasov, A. G., D'Antuono, I., Pizzi, A., Butassi, E., Zacchino, S. A., & Sharifi-Rad, J. (2018). Carvacrol and human health: A comprehensive review. *Phytotherapy Research*, 32(9), 1675–1687. https://doi.org/10.1002/ptr.6103

Shin, Y. K., & Seol, G. H. (2023). Effects of linalyl acetate on oxidative stress, inflammation and endothelial dysfunction: Can linalyl acetate prevent mild cognitive impairment? *Frontiers in Pharmacology*, 14, Article 1233977. https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1233977

Tevfik, A. S., & Yegorova, N. A. (2021). Influence of culture medium composition on the micropropagation of *Thymus tauricus* Klokov et Des.-Shost, *Earth and Environmental Science*, 937(4), Article 042078. https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/4/042078

Vaičiulytė, V., Ložienė, K., Švedienė, J., Raudonienė, V., & Paškevičius, A. (2021). α-Terpinyl acetate: Occurrence in essential oils bearing *Thymus pulegioides*, phytotoxicity, and antimicrobial effects. *Molecules*, 26(14), Article 4106. https://doi.org/10.3390/molecules2614106

References

Balahbib, A., El Omari, N., El Hachlafi, N., Lakhdar, F., El Menyiy, N., Salhi, N., Naceiri Mrabti, H., Bakrim, S., Zengin, G., & Bouyahya, A. (2021). Health beneficial and pharmacological properties of p-cymene. *Food and Chemical Toxicology*, 153, Article 112259. https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112259

Busines Research Insights. (2024). *Isolate essential oil market report overview*. https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/isolate-essential-oil-market-110084

Chowdhury, S., & Kumar, S. (2020). Alpha-terpinyl acetate: A natural monoterpenoid from Elettaria cardamomum as multi-target directed ligand in Alzheimer's disease. *Journal of Functional Foods*, 68, Article 103892. https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.10389

Clancy, M. V., Zytynska, S. E., Moritz, F., Witting, M., Schmitt-Kopplin, P., Weisser, W. W., & Schnitzler, J. P. (2018). Metabotype variation in a field population of tansy plants influences aphid host selection. *Plant, Cell & Environment*, 41(12), 2791–2805. https://doi.org/10.1111/pce.13407

Didukh, Ya. P., & Sokolenko, U. M. (2014). *Ecological differentiation of Karabi-Yayla biotopes (Mountainous Crimea). Ukr. Botany. Journ.* 71(2), 127–139 [in Ukrainian].

Fukleva, L. A. (2014). Pharmacognostic study of common and Crimean thyme and obtaining substances based on them [Author's ref. dissertation candidate of pharmaceutical sciences, Zaporizhzhya State Medical University. Zaporizhzhya] [in Ukrainian].

Fukleva, L. (2016). A complex chemical composition study for Thymus tauricus a prospective medicinal species of Ukrainian flora. In Plants in Pharmacy & Nutrition: 2nd International Young Scientists Symposium, 15–17 September, 2016: Book of abstracts (p. 76). Wroclaw Medical University.

Fukleva, L. A. (2021). *Investigation of ascorbic acid accumulation in plant raw materials Thymus tauricus Klok. et Shost. Modern scientific researches.* 16(1). 94–97. URL: https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-025

Fukleva, L. A. (2016). Comprehensive study of a promising species of the genus Thymus L. of the flora of Ukraine, Crimean thyme. *Scientific and technical progress and optimization of technological processes for the creation of medicinal products* (p. 72–73). Ternopil State Medical University [in Ukrainian].

Fukleva, L. A., & Grechana, O. V. (2018). Study of the elemental composition of thyme grass from the Crimean south of Ukraine. In L. A. Fukleva, & O. V. Grechana (Eds.), *Medicinal plant cultivation: from past experience to the latest technologies* (219–222). Municipal publishing house "Lubny" [in Ukrainian].

Keefover-Ring, K. (2022). *The chemical biogeography of a widespread aromatic plant species shows both spatial and temporal variation. Ecology and Evolution*, 12(9). https://doi.org/10.1002/ece3.9265

Kovtun-Vodyanytska, S. M. (2020*).* Materials of the All-Ukrainian Scientific Conference of Young Scientists and Scientific and Pedagogical Workers. In O. O. Nepochatenko, V. P. Karpenko, & A. F. Balabak (Eds.), *Rare thymes: Thymus tauricus Klokov ex Des.-Shost., Thymus sibthorpii Benth., Thymus mongolicus (Ronniger) Ronniger, introduced into the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine* (pp. 88–90). VPC "Vizavi".

Kozuharova, E., Simeonov, V., Batovska, D. Stoycheva C., Valchev, H., & Benbassat, N. (2023). *Chemical composition and comparative analysis of lavender essential oil samples from Bulgaria in relation to the pharmacological effects. Pharmacia*, 70(2), 395–403. https://doi.org/10.3897/pharmacia.70.e104404

Krasylenko Y. *Heady Mediterranean Wind: Capers, Juniper, Thyme, Wormwood, and Saffron in Cooking.* 2019. https://yizhakultura.com/material/20190817_2313

Krytska, L. I. (2014). *Typification of vascular plant species described from Ukraine: family Lamiaceae (genus Thymus). Ukr. Botany Journ.,* 71(3), 301–307 [in Ukrainian].

Market Research Report. (2024). *Essential Oil Extraction Market – 2024–2031.* https://www.giiresearch.com/report/dmin1448047-essential-oil-extraction-market.html

Mazulin, O. V., Fukleva, L. A., Steshenko, Y. M., Mazulin, G. V., Salii, O. O., & Puchkan, L. O. (2023). *Study of carotenoids and chlorophylls content in Thymus L. essential oils genus species at the reproductive period. Farmatsetychnyi Zhurnal*, 78(6), 104–113.

Mondal, A., Bose, S., Mazumder, K., & Khanra, R. (2021). Carvacrol (Origanum vulgare): Therapeutic properties and molecular mechanisms. In D. Pal & A. K. Nayak (Eds.), *Bioactive natural products for pharmaceutical applications* (pp. 347–366). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54027-2_13

Müller, C., Robert, R., & Junker, R. R. (2022). Chemical phenotype as important and dynamic niche dimension of plants. *New Phytologist*, 234(4), 1168–1174. https://doi.org/10.1111/nph.18075

Rakhmetov, D. B., Kovtun-Vodyanytska, S. M., Bondarchuk, O. P., & Nikishova, N. V. (2024). *Fundamental aspects of adaptation of new cultures in Ukraine*. NAS of Ukraine, NBS named after M. M. Hryshko.

Rivas-Ubach, A., Aranda, I., Sardans, J., Liu, Y., & Peñuelas, J. (2025). An outline on the chemical phenotype flexibility of forest species: An eco-metabolomics study of Pinus uncinata along an altitudinal gradient. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 66, Article 125844. https://doi.org/10.1016/j.ppees.2024.125844

Royal Botanic Gardens Kew. (2025). *Thymus tauricus Klokov & Des*.-Shost. https://powo.science.kew.org/results?q=thymus%20tauricus

Seo, E., Shin, Y. K., Hsieh, Y. S., Lee, J.-M., & Seol, G. H. (2021). Linalyl acetate as a potential preventive agent against muscle wasting in rheumatoid arthritis rats chronically exposed to nicotine. *Journal of Pharmacological Sciences*, 147(5), 157–165. https://doi.org/10.1016/j.jphs.2021.05.003

Sharifi-Rad, M., Varoni, E.-M., Iriti, M., Martorell, M., Setzer, W. N., & Sharifi-Rad, J. (2018). Carvacrol and human health: A comprehensive review. *Phytotherapy Research*, 32(9), 1675–1687. https://doi.org/10.1002/ptr.6103

Shin, Y. K., & Seol, G. H. (2023). Effects of linalyl acetate on oxidative stress, inflammation and endothelial dysfunction: Can linalyl acetate prevent mild cognitive impairment? *Frontiers in Pharmacology*, 14, Article 1233977. https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1233977

State Pharmacopoeia of Ukraine: in 3 vols. (2015). (2nd ed., Vol. 1). SE "Ukrainian Scientific Pharmacopoeial Center for the Quality of Medicines" [in Ukrainian].

Tevfik, A. S., & Yegorova, N. A. (2021). Influence of culture medium composition on the micropropagation of Thymus tauricus Klokov et Des.-Shost, *Earth and Environmental Science*, 937(4), Article 042078. https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/4/042078

Vaičiulytė, V., Ložienė, K., Švedienė, J., Raudonienė, V., & Paškevičius, A. (2021). α-Terpinyl acetate: Occurrence in essential oils bearing Thymus pulegioides, phytotoxicity, and antimicrobial effects. *Molecules,* 26(14), Article 4106. https://doi.org/10.3390/molecules2614106

Отримано редакцією журналу / Received: 10.03.25

Прорецензовано / Revised: 14.04.25 | Схвалено до друку / Accepted: 29.05.25

Svitlana KOVTUN-VODYANYTSKA[1], PhD (Biol.)
ORCID ID: 0000-0002-2367-461X
e-mail: catta-s@ukr.net

Iryna LEVCHUK[2], PhD (Engin.)
ORCID ID: 0000-0002-9337-8816
e-mail: iryna.levchuk.v@gmail.com

Olga GOLUBETS[2], PhD (Agricult.)
ORCID ID: 0000-0002-6840-4955
e-mail: golubetsolga@ukr.net

Dzhamal RAKHMETOV[1], Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Prof.
ORCID ID: 0000-0001-7260-3263
e-mail: rjb2000.16@gmail.com

[1] M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[2] Scientific and research center for products testing, State Enterprise "UKRMETRTESTSTANDART", Kyiv, Ukraine

FEATURES OF THE PHYTOCHEMICAL COMPOSITION OF *THYMUS TAURICUS* (LAMIACEAE) ESSENTIAL OIL DURING THE INTRODUCTION IN THE FOREST-STEP OF UKRAINE

Background. ***Natural essential oils (EOs) have a wide range of applications and are currently in high demand on the world market. To expand the domestic range of essential oil plant species and replace the forced import of raw materials, it is necessary to study plant species, primarily native flora, and select the best ones for introduction studies and cultivation. In Ukraine, the introduction of essential oil plant species, taking into account climatic variability, allows us to consider the central and northern regions, not limited to the southern ones.***

In this work, we pursued the goal of studying the essential oil content of the species Thymus tauricus Klokov & Des.-Shost. (Lamiaceae), introduced in the conditions of the M. M. Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine (Right-Bank Forest-Steppe) and outline the prospects for practical use as a raw material crop.

Methods. ***The aerial part of Th. tauricus was used in laboratory studies.. Raw materials were harvested in the flowering phase of plants. EO was isolated by hydrodistillation. The component composition of EO was analyzed by gas chromatography with mass spectrometric detection (GC-MS).***

Results. ***The EO content in the aerial part of Th. tauricus is 1,91-2,66%. 70 compounds were found and identified in it. The dominant ones are linalyl acetate (19,6%), linalool (18,3%), α-terpinyl acetate (13,4%), carvacrol (12,4%), ρ-cymene (4,2%) and others. These compounds have a diverse pharmacological effect on the human body, in particular antioxidant, anti-inflammatory, antidiabetic, antiviral, antitumor, antibacterial, etc. It was revealed that Th. tauricus is characterized by intraspecific phytochemical variation, indicating a separate metabolic type of the introduced plants.***

Conclusions. ***According to the results of the experimental work, it was established that in the proposed new growing conditions, Th. tauricus is a promising introducer for essential oil use. The phytochemical composition of the EO plants of this species contains biologically active compounds known for their pharmacological properties that are beneficial to the human body, which determines the use of Th. tauricus in biochemical, environmental studies, breeding work and in practice – in various domestic industries.***

Keywords: ***Thymus tauricus, introduction, essential oil, gas chromatography, metabolic type.***

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

УДК 613.25:796.071:612.63
DOI: https://doi.org/10.17721/1728.2748.2025.101.17-22

Яна ДОЛГА, асп.,
ORCID ID: 0009-0002-8759-7403
e-mail: dolgayana@gmail.com
Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

Вікторія ПАСТУХОВА, д-р мед. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-4091-913X
e-mail: vpastukhova@uni-sport.edu.ua
Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

Ігор ГОНЧАРЕНКО, д-р біол. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0001-5239-3270
e-mail: goncharenko.ihor@gmail.com
Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна
Інститут еволюційної екології НАН України, Київ, Україна

ЕФЕКТИВНІСТЬ НИЗЬКОВУГЛЕВОДНОЇ ДІЄТИ ДЛЯ КОРЕКЦІЇ ФІЗИЧНОГО СТАНУ ЖІНОК, ЯКІ ЗАЙМАЮТЬСЯ ФІТНЕСОМ, ЗАЛЕЖНО ВІД ВІКУ ТА ЗРОСТУ

Вступ. ***Проблеми пов'язані із зайвою вагою та ожирінням, є актуальною проблемою сучасного суспільства. Ожиріння та надмірна вага стали глобальною епідемією, яка зачіпає всі вікові групи. За останні десятиліття кількість людей із зайвою вагою збільшилася у кілька разів, спричинивши різке зростання проблем, пов'язаних із ожирінням. Відомо, що зі збільшенням віку збільшується ризик появи зайвої ваги, починаючи із середнього віку. Метою даного дослідження було встановити, як змінюється маса тіла у жінок різного зросту на тлі занять фітнесом із застосуванням низьковуглеводної дієти залежно від їхнього віку.***

Методи. ***Дослідження тривало протягом місяця та передбачало анкетування, оцінку антропометричних показників, застосування сучасних методів визначення складу тіла з використанням вагів-аналізаторів "Tanita BC-730" (Rusek et al., 2021). У дослідженні взяло участь 30 жінок віком 19–49 років. Критеріями відбору були: повна відсутність гострих захворювань протягом місяця перед обстеженням, відсутність будь-яких скарг. Фізичний розвиток спостерігався як гармонійний і відповідав за всіма антропометричними показниками віковим стандартам фізичного розвитку.***

Результати. ***Після проведення експерименту протягом 4 тижнів у всіх жінок спостерігалося зменшення маси тіла та відбулася корекція інших показників (вісцеральна жирова тканина (ВЖТ), індекс маси тіла (ІМТ), об'єм талії (ОТ), зокрема максимальне зменшення маси тіло становило 9,5 кг, мінімальне – 0,9 кг, а середнє – 3,97 кг.***

Висновки. ***Ефективність застосування низьковуглеводної дієти та тлі занять фітнесом, є меншою у жінок меншого зросту. Було встановлено також, що такі показники, як маса тіла (МТ), ОТ легше піддаються корекції у жінок зі збільшенням їх росту. Ефективність дієти у жінок старшої вікової групи, так само як і занять фітнесом, була відносно меншою щодо зменшення маси тіла.***

Ключові слова: ***зменшення маси тіла, зріст, об'єм талії, вік, низьковуглеводна дієта, заняття фітнесом.***

Вступ

Надмірна вага та ожиріння є найактуальнішою проблемою сьогодення. Поширеність зайвої ваги серед літніх європейців становить близько 60 %, а ожиріння – 20 %. У Сполучених Штатах поширення ожиріння ще вища і становить близько 40 %. Ці показники неухильно зростають у всьому світі за останні 40 років серед чоловіків і жінок (Eglseer et al., 2023).

Ожиріння характеризується надмірним накопиченням жиру, що часто відбувається у процесі старіння. Це особливо характерно для людей віком від 45 до 70 років, при цьому пік ваги спостерігається в середньому віці, тобто у віці від 50 до 65 років.

Метою цього дослідження було встановлення відповідностей у жінок різного зросту, між зміною маси тіла, під впливом низьковуглеводної дієти, на тлі занять фітнесом, та віком учасниць експеременту.

Огляд літератури. Висока поширеність і серйозні соціальні, економічні та медичні наслідки ожиріння роблять його однією з основних проблем світової охорони здоров'я. Ожиріння є основним фактором ризику низки захворювань, включаючи цукровий діабет 2 типу, ішемічну хворобу серця, цереброваскулярні захворювання, артеріальну гіпертензію, дисліпідемію та кілька видів раку. Усі ці стани сприяють зниженню як якості життя, так і його тривалості. Наприклад, збільшення ІМТ суспільства на два пункти скорочує тривалість життя на 0,7–1 рік. Крім того, ожиріння супроводжується такими проблемами, як падіння, інвалідність або залежність від догляду, особливо у людей похилого віку. Відомо, що пік зайвої ваги спостерігається починаючи із середнього віку та збільшується з настанням похилого. У жінок у період менопаузи цей процес стає більш вираженим через гормональні зміни, втрату м'язової маси та зміни в розподілі жиру. Відомо, що потреби в енергії залежать від віку, статі, маси тіла, зросту й величини фізичної активності.

Низький зріст може бути фактором ризику ожиріння, оскільки він пов'язаний з меншим енергетичним обміном, швидшим набором ваги при надлишку калорій і меншою м'язовою масою. Дієтичні інтервенції та фізична активність – найефективніший спосіб профілактики та боротьби з ожирінням (Mason et al., 2019; Xie et al., 2024; Kang et al., 2022). Вони допомагають не лише схуднути, а й покращити загальний стан здоров'я, продовжити тривалість життя та підвищити його якість.

Методи

Маса тіла вимірювалась у легкій одежі, у положенні стоячи, руки вільно звисали паралельно тулубу натще-серце на вагах-аналізаторі складу тіла Tanita MC 780 (Rusek et al., 2021).

Оцінку базових антропометричних показників (зріст, МТ, ВЖТ) проводили на аналізаторі Tanita MC 780.

© Долга Яна, Пастухова Вікторія, Гончаренко Ігор, 2025

Для зменшення МТ було обрано низьковуглеводну дієту (< 26 % вуглеводів) або менше 130 г/день, з фіксованою калорійністю 1600–1700 ккал (Oh, Gilani, & Uppaluri, 2024).

Обраним характером фізичних навантажень були заняття фітнесом (силові тренування середньої інтенсивності), тривалістю 60 хв., 3 рази на тиждень (Sun et al., 2019, Sun et al., 2021).

Індекс маси тіла розраховувався за формулою (Caballero, 2019).

Статистичну обробку даних проводили у середовищі R ver. 3.5.6. (https://cran.r-project.org).

Для визначення ефективності низьковуглеводної дієти залежно від віку та зросту жінок проводився кореляційний і регресійний аналіз.

Вік і зріст виступали як незалежні змінні, а росто-вагові показники (перерахувати) – як залежні. Для оцінки кореляції розраховувався коефіцієнт кореляції Пірсона між такими показниками, як втрата ваги, зміна відсотку жиру в організмі і т. п. та віку жінок, що брали участь в експерименті. Як показник достовірності кореляційного зв'язку розраховували значення p-value. За Но (нульову гіпотезу) приймалася відсутність зв'язку між указаними показниками, а за альтернативну – наявність такого зв'язку. Обраний рівень значущості становив 0,05.

Для побудови регресійної моделі використовували функцію лінійної регресії. Регресійний аналіз проводився так само для кожного показника змін фізичного статусу (втрата ваги, зміна відсотку жиру в організмі і т. п.) окремо. Побудовані моделі регресійного аналізу дозволять оцінити і більш точно показати графічно як змінюються росто-вагові показники у жінок різного віку та зросту.

Результати

Встановлено, що після проведення експерименту протягом 4 тижнів у всіх жінок спостерігалося зменшення маси тіла та відбулася корекція інших показників (ВЖТ, ІМТ, ОТ), зокрема максимальне зменшення маси тіло становило 9,5 кг, мінімальне – 0,9 кг, а середнє – 3,97 кг.

Аналіз залежності росто-вагових показників для жінок різного зросту показав наявність значущої додатної кореляції, отже ефективність застосування дієти та занять фітнесом є меншою у жінок меншого зросту. При цьому такі показники, як МТ, ОТ мали значення p-value < 0,01, тобто зв'язок був високодостовірним. Також ці показники легше піддаються корекції у жінок зі збільшенням їхнього росту.

Навпаки, залежність змін росто-вагових показників для жінок різного віку була оберненою. Це означає, що ефективність дієти у жінок старшої вікової групи, так само як і занять фітнесом, була відносно меншою стосовно зменшення маси тіла і т. п. Причому у жінок розглянутої вікової категорії (30–50 років) p-value > 0,05, тобто такий зв'язок не був достовірним. Гіпотетично можна передбачити, що встановлена залежність має місце і буде доведена у випадку розширення вікового діапазону досліджуваних, зокрема до діапазону 20–60 років.

Параметри фізичного стану жінок до та після експерименту показано в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри фізичного стану жінок (зріст, ІМТ, ВЖТ, ОТ) до та після експерименту (N = 30) із застосуванням низьковуглеводної дієти

N	До експерименту					Після експерименту			
	Зріст м^2	МТ кг	ІМТ	ВЖТ %	ОТ см	МТ кг	ІМТ	ВЖТ %	ОТ см
1	1.59	67	26.50	33.2	77	59.7	23.69	30.9	72
2	1.53	82.2	35.11	42.7	85	73.8	31.53	38.6	78
3	1.64	68.7	25.54	36.4	75	65.1	24.20	35.2	72
4	1.58	72.4	29.00	38.7	88	68.1	27.28	35.8	79
5	1.65	72.2	26.52	37.9	76	67.2	24.68	32.9	69
6	1.63	73	27.48	38.8	78	69.5	26.16	35.3	74
7	1.62	71.1	27.09	32.8	79	67.1	25.57	31.5	74
8	1.65	63.6	23.36	31	68	59.5	21.85	27	64
9	1.66	67.4	24.46	33.6	70	62.2	22.57	32	65
10	1.7	76.9	26.61	37.2	75	72.5	25.09	36	71
11	1.65	60	22.04	29.9	70.5	59	21.67	29.4	67.5
12	1.63	68.6	24.89	37.1	72	64.5	24.28	33	69
13	1.7	67.7	25.82	34.1	74	63.5	21.97	30.7	69
14	1.6	74	28.91	41.2	93	68	26.56	38.7	85
15	1.6	64.6	25.23	36.2	76	55.1	21.52	29.5	71
16	1.6	57	22.27	25	63.5	55.6	21.72	24.60	62
17	1.69	57.2	20.00	26.2	64	56.2	19.65	25.80	62
18	1.65	63.1	23.18	32.7	69	58.7	21.56	30.6	64
19	1.66	67.4	24.46	33.6	70	64.2	23.30	31.7	66
20	1.68	79.6	28.20	41.9	85	75.3	26.68	38.6	80
21	1.68	73.5	26.04	32.2	77	71.4	25.30	31.5	74
22	1.68	78	27.64	39.9	84	74.8	26.50	37.4	80
23	1.64	74.4	27.66	40.5	84	69.5	25.84	36.3	78
24	1.7	61.2	21.18	28.4	65	59.1	20.45	27.2	63
25	1.69	65.8	23.04	29.9	73	62.4	21.85	28.3	69
26	1.65	57.6	21.16	30.9	65	56.3	20.68	29.8	64
27	1.68	65	23.03	31.8	78	61.3	21.72	30.5	73
28	1.6	84.3	32.93	45.8	102	78.1	30.51	41.4	93
29	1.64	59.8	22.23	29.7	69	57.4	21.34	28.8	67
30	1.64	55.7	20.71	30.4	59	54.8	20.37	29.9	57
середнє	1,64	68,30	25,41	34,66	75	64,33	23,87	32,30	71,05
мінімальне	1.53	55,7	20,00	25	59	54.8	20.37	24.60	62
максимальне	1.7	84,3	35,11	45,8	102	78.1	31.53	41.4	93

Як бачимо, середнє мінімальне значення зросту жінок до експерименту становило 1,53 м, а середнє максимальне – 1,64 м. Показник зросту не вимірювався повторно після експерименту, оскільки вважається, що це стала величина, яка не змінюється під впливом зовнішніх факторів.

Середнє значення МТ у жінок (N = 30) до початку експерименту становило 68,3 кг і коливалося у межах від 55,7 до 84,3 кг. Після закінчення експерименту із застосуванням низьковуглеводної дієти на тлі занять фітнесом середнє значення МТ у тієї самої групи становило 64,33 кг, тобто у середньому показник зменшився на 3,97 кг. При цьому найбільше зафіксоване зниження маси тіла становило 9,5 кг. Середнє значення ВЖТ зменшилося на 2,36 %, при незначній зміні мінімального значення на 0,4 % максимальне, хоча і зменшилось на 4,4 % та становило 41,4 %, але все ще не відповідало параметрам норми жінок цієї вікової групи. Показники максимального ІМТ наприкінці дослідження продемонстрували різницю у 3,58 одиниць, хоча мінімальний показник ІМТ до та після експерименту мав несуттєву різницю у 0,37 одиниць, при зменшенні середнього значення на 1,54. Суттєвих змін зазнав максимальний ОТ, який після експерименту зменшився на 9 см і становив 93 см, середній та мінімальний ОТ також продемонстрували динаміку до зниження, зменшившись відповідно на 3,95 і 3 см.

У табл. 2 наведено зміни показників фізичного статусу жінок до та після експерименту із застосуванням дієти, а також їхній ріст і вік.

Таблиця 2

Зміни показників фізичного статусу жінок до та після експерименту із застосуванням низьковуглеводної дієти залежно від віку та зросту

Номер випробовуваного, id	Зміна МТ, кг	Зміна індексу маси тіла, ІМТ	Зміна частки жиру, ВЖТ, %	Зміни обхвату талії ОТ, см	Зріст, м	Вік, років
1	-7.30	-2.81	-2.30	-5	1.59	43
2	-8.40	-3.58	-4.10	-7	1.53	43
3	-3.60	-1.34	-1.20	-3	1.64	42
4	-4.30	-1.72	-2.90	-9	1.58	44
5	-5.00	-1.84	-5.00	-7	1.65	50
6	-3.50	-1.32	-3.50	-4	1.63	33
7	-4.00	-1.52	-1.30	-5	1.62	39
8	-4.10	-1.51	-4.00	-4	1.65	46
9	-5.20	-1.89	-1.60	-5	1.66	37
10	-4.40	-1.52	-1.20	-4	1.7	52
11	-1.00	-0.37	-0.50	-3	1.65	49
12	-4.10	-0.61	-4.10	-3	1.63	31
13	-4.20	-3.85	-3.40	-5	1.7	35
14	-6.00	-2.35	-2.50	-8	1.6	44
15	-9.50	-3.71	-6.70	-5	1.6	43
16	-1.40	-0.55	-0.40	-2	1.6	22
17	-1.00	-0.35	-0.40	-2	1.69	36
18	-4.40	-1.62	-2.10	-5	1.65	35
19	-3.20	-1.16	-1.90	-4	1.66	52
20	-4.30	-1.52	-3.30	-5	1.68	43
21	-2.10	-0.74	-0.70	-3	1.68	42
22	-3.20	-1.14	-2.50	-4	1.68	41
23	-4.90	-1.82	-4.20	-6	1.64	46
24	-2.10	-0.73	-1.20	-2	1.7	35
25	-3.40	-1.19	-1.60	-4	1.69	32
26	-1.30	-0.48	-1.10	-1	1.65	34
27	-3.70	-1.31	-1.30	-5	1.68	33
28	-6.20	-2.42	-4.40	-9	1.6	51
29	-2.40	-0.89	-0.90	-2	1.64	44
30	-0.90	-0.34	-0.50	-2	1.64	51
Мін	-0,9	-3.85	-6.70	-9	1,53	22
Макс	-9,5	-0.34	-0.40	-1	1,7	52
Ср. Знач.	-3.97	-1.54	-2.36	-4.42	1,64	40,93

Згідно з даними таблиці можна дійти висновку, що у жінок із діапазоном зросту 1,5–1,6 м після експерименту відбулося зменшення маси тіла в середньому до 6,2 кг (n = 7); жінки з діапазоном зросту 1,61–1,65 м зменшили масу тіла в середньому на 3,27 кг (n = 12), а середній показник зменшення маси тіла жінок із діапазоном зросту 1,66–1,7 м становив 4,02 кг (n = 11). Найбільше зменшення маси тіла спостерігалося у групі з діапазоном зросту 1,5–1,6 м (n = 7) і становило 36,10 % від загальних утрачених кг всієї групи (n = 30). Це можна пов'язати із більшим, порівняно із групами інших категорій росту, ІМТ (28,56) категорії 1,5–1,6 м на початку експерименту.

У табл. 3 наведено результати кореляційного аналізу змін показників фізичного статусу жінок залежно від віку та зросту.

Таблиця 3

Результати кореляційного аналізу змін показників фізичного статусу жінок залежно від віку та зросту

	height	p-value	age	p-value
МТ	0.54	0.0019**	-0.23	0.23
ІМТ	0.41	0.0252*	-0.17	0.36
ВЖТ	0.37	0.0431*	-0.21	0.27
ОТ	0.47	0.0081**	-0.36	0.05

Примітка: (** p-value < 0.01, * p-value < 0.05) – не обов'язково.

Із табл. 3 ми бачимо, що всі показники змін фізичних параметрів тіла жінок (МТ, ІМТ, ВЖТ, ОТ) мають додатну кореляцію із зростом жінок. Це означає, що ефективність корекції маси тіла та інших показників фізичного стану є більш ефективною на фоні низьковуглеводної дієти та занять фітнесом у жінок вищого зросту.

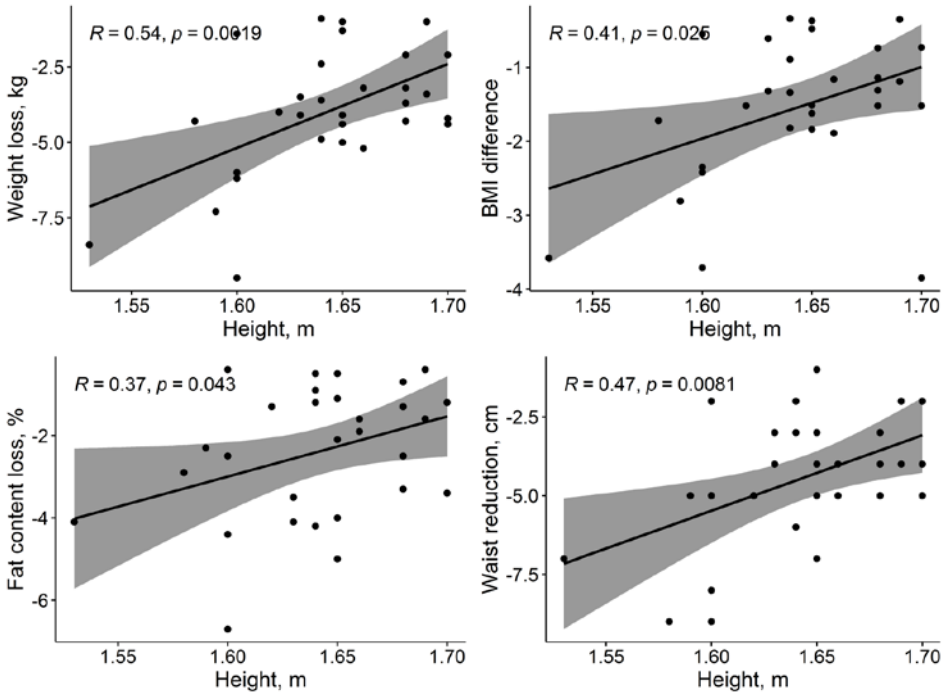


Рис. 1. Зміни росто-вагових показників жінок на фоні застосування низьковуглеводної дієти

Як бачимо з рис. 1, усі зміни росто-вагових показників мають додатну кореляцію зі зростом. Це доводить, що ефективність корекції маси тіла та інших показників фізичного стану є більш ефективною на фоні низьковуглеводної дієти та занять фітнесом у жінок вищого зросту. Жінкам меншого зросту (1,65 м та менше) легше збільшувати ІМТ та важче знижувати масу тіла, що може бути пов'язано з меншою, порівняно з вищими жінками, величиною базального метаболізму. Значення коефіцієнта кореляції є найбільшим (0,54) для показника МТ, а найменшим (0,37) – для ВЖТ. Таким чином, найбільше піддається корекції маса тіла жінок, а найбільш інертним показником є відсоток жиру в організмі, який зменшити значно важче. p-value характеризує достовірність кореляційного зв'язку і для всіх p-value $<0,05$, а для деяких (waist_diff weight_diff) p-value $<0,01$.

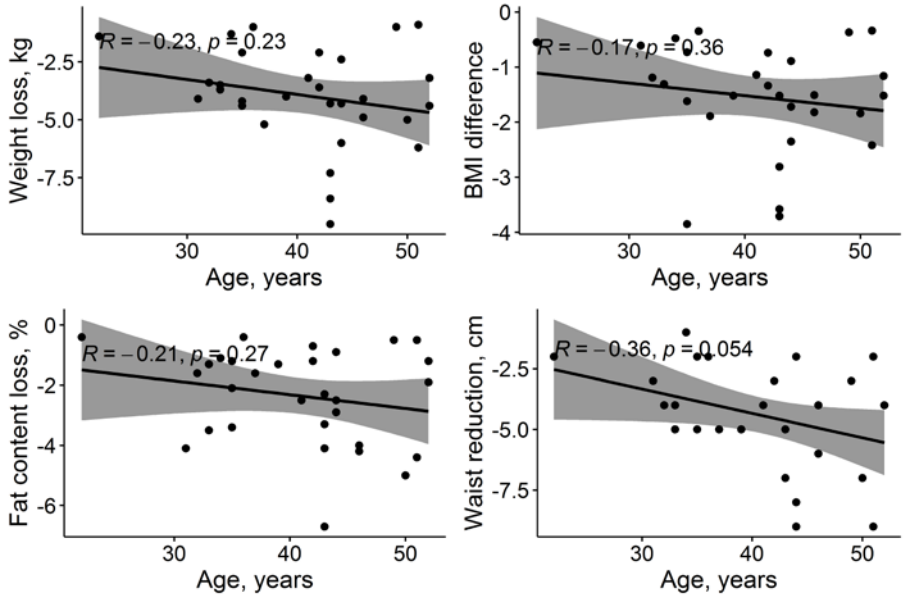


Рис. 2. Зміни росто-вагових показників жфнок на фоні застосування низьковуглеводної дієти залежно від їхнього віку, R – коефіцієнт кореляції, p – рівень значущості p-value

Із рис. 2 бачимо, що зміни росто-вагових показників залежно від віку, навпаки, мають зворотну кореляцію. Це означає, що для жінок старшого віку ефективність низьковуглеводної дієти та інших способів корекції маси тіла, у т. ч. на фоні занять фітнесом, є нижчою. Це може пояснюватися можливими зниженням з віком кількості м'язової маси (Huang Shih-Wei et al., 2017), що призводить до зниження величини базового метаболізму, фізіологічних вікових змін, які сприяють накопиченню абдомінального жиру (Opoku et al., 2023) та зменшують загальні енерговитрати, створюючи позитивний баланс калорій. Значення коефіцієнту кореляції коливається від -0,17 до -0,36. Таким чином, найгірше з віком піддається корекції показник обхвату талії. Проте значення p-value коливалося від 0,05 до 0,36, тобто зв'язок із віком був не значущим. Вочевидь, така залежність (змін росто-вагових показників з віком) все ж трапляється, але у дослідженому віковому діапазоні (30–50 років) є не чітко вираженою.

Дискусія і висновки

Нами проведене дослідження змін росто-вагових показників жінок на тлі застосування низьковуглеводної дієти та занять фітнесом залежно від їх віку та зросту.

Встановлено, що після проведення експерименту протягом 4 тижнів у всіх жінок спостерігалося зменшення маси тіла та відбулася корекція інших показників (ВЖТ, ІМТ, ОТ), зокрема максимальне зменшення маси тіло становило 9,5 кг, мінімальне – 0,9 кг, а середнє – 3,97 кг.

Аналіз залежності росто-вагових показників для жінок різного зросту показав наявність значущої додатної кореляції, отже ефективність застосування дієти та занять фітнесом є меншою у жінок меншого зросту. При цьому такі показники як МТ, ОТ мали значення p-value < 0,01, тобто зв'язок був високодостовірним, також, ці показники легше піддаються корекції у жінок із збільшенням їх росту.

Навпаки залежність змін росто-вагових показників для жінок різного віку була оберненою. Це означає, що ефективність дієти у жінок старшої вікової групи, так само як і занять фітнесом, була відносно меншою щодо зменшення маси тіла і т. п. Причому у жінок розглянутої вікової категорії (30–50 років) p-value > 0,05, тобто такий зв'язок не був достовірним. Гіпотетично можна передбачити, що встановлена залежність має місце і буде доведена у випадку розширення вікового діапазону досліджуваних, зокрема до діапазону 20–60 років.

Внесок авторів: Яна Долга – концептуалізація, методологія, валідація даних, написання (оригінальна чернетка); Ігор Гончаренко – програмне забезпечення, формальний аналіз; Вікторія Пастухова – написання (перегляд і редагування).

Список використаних джерел

Хуан Ши-Вей (Ред.). (2017). Вплив прогресивних вправ на еластичну стрічку з опором для жінок похилого віку з саркопенічним ожирінням: пілотне рандомізоване контрольоване дослідження. *Європейський журнал фізики та реабілітації,* 53(4), 556–563. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28084062

Caballero, B. (2019). Humans against obesity: Who will win? *Advances in Nutrition*, 10(Suppl. 1), S4–S9. https://doi.org/10.1093/advances/nmy055

Eglseer, D., Traxler, M., Embacher, S., Reiter, L., Schoufour, J., Weijs, P. J. M., & Voortman, T. (2023). Nutrition and exercise interventions to improve body composition for persons with overweight or obesity near retirement age. *Advances in Nutrition*, 14(3), 516–538. https://doi.org/10.1016/j.advnut.2023.04.001

Kang, J., Ratamess, N. A., Faigenbaum, A., Bush, J. A., Beller, N., Vargas, A., Fardman, B., & Andriopoulos, T. (2022). Effect of time-restricted feeding on anthropometric, metabolic, and fitness parameters: A systematic review. *Journal of the American Nutrition Association*, 41(8), 810–825. https://doi.org/10.1080/07315724.2021.1958719

Mason, C., Tapsoba, J. D., Duggan, C., Wang, C.-Y., Alfano, C. M., & McTiernan, A. (2019). Eating behaviors and weight loss outcomes in a 12-month randomized trial of diet and/or exercise intervention in postmenopausal women. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 16(1), Article 113. https://doi.org/10.1186/s12966-019-0887-1

Oh, R., Gilani, B., & Uppaluri, K. R. (2024). *Low-carbohydrate diet.* Stat Pearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537084/

Opoku, A. A., Abushama, M., & Konje, J. C. (2023). Obesity and menopause. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology*, 88, Article 102348. https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2023.102348

Rusek, W., Baran, J., Leszczak, J., Adamczyk, M., Baran, R., Weres, A., Inglot, G., Czenczek-Lewandowska, E., & Pop, T. (2021). Changes in children's body composition and posture during puberty growth. *Children*, 8(4), Article 288. https://doi.org/10.3390/children8040288

Sun, S., Kong, Z., Shi, Q., Hu, M., Zhang, H., Zhang, D., & Nie, J. (2019). Non-energy-restricted low-carbohydrate diet combined with exercise intervention improved cardiometabolic health in overweight Chinese females. *Nutrients*, 11(12), Article 3051. https://doi.org/10.3390/nu11123051

Sun, S., Kong, Z., Shi, Q., Zhang, H., Lei, O., & Nie, J. (2021). Carbohydrate restriction with or without exercise training improves blood pressure and insulin sensitivity in overweight women. *Healthcare*, 9(6), Article 637. https://doi.org/10.3390/healthcare9060637

Tang, R., Fan, Y., Luo, M., Zhang, D., Xie, Z., Huang, F., Wang, Y., Liu, G., Wang, Y., Lin, S., & Chen, R. (2022). General and central obesity are associated with increased severity of the VMS and sexual symptoms of menopause among Chinese women: A longitudinal study. *Frontiers in Endocrinology*, 13, Article 814872. https://doi.org/10.3389/fendo.2022.814872

Xie, Y., Gu, Y., Li, Z., He, B., & Zhang, L. (2024). Effects of different exercises combined with different dietary interventions on body composition: A systematic review and network meta-analysis. *Nutrients*, 16(17), Article 3007. https://doi.org/10.3390/nu16173007

References

Caballero, B. (2019). Humans against obesity: Who will win? *Advances in Nutrition*, 10(Suppl. 1), S4–S9. https://doi.org/10.1093/advances/nmy055

Eglseer, D., Traxler, M., Embacher, S., Reiter, L., Schoufour, J., Weijs, P. J. M., & Voortman, T. (2023). Nutrition and exercise interventions to improve body composition for persons with overweight or obesity near retirement age. *Advances in Nutrition*, 14(3), 516–538. https://doi.org/10.1016/j.advnut.2023.04.001

Huang Shih-Wei. (Eds.). The Impact of Progressive Resistance Band Exercises on Elderly Women with Sarcopenic Obesity: A Pilot Randomized Controlled Trial., *Eur J Phys Rehabil Med*., 53(4), 556–563.

Kang, J., Ratamess, N. A., Faigenbaum, A., Bush, J. A., Beller, N., Vargas, A., Fardman, B., & Andriopoulos, T. (2022). Effect of time-restricted feeding on anthropometric, metabolic, and fitness parameters: A systematic review. *Journal of the American Nutrition Association*, 41(8), 810–825. https://doi.org/10.1080/07315724.2021.1958719

Mason, C., Tapsoba, J. D., Duggan, C., Wang, C.-Y., Alfano, C. M., & McTiernan, A. (2019). Eating behaviors and weight loss outcomes in a 12-month randomized trial of diet and/or exercise intervention in postmenopausal women. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 16(1), Article 113. https://doi.org/10.1186/s12966-019-0887-1

Oh, R., Gilani, B., & Uppaluri, K. R. (2024). *Low-carbohydrate diet.* Stat Pearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537084/

Opoku, A. A., Abushama, M., & Konje, J. C. (2023). Obesity and menopause. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology*, 88, Article 102348. https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2023.102348

Rusek, W., Baran, J., Leszczak, J., Adamczyk, M., Baran, R., Weres, A., Inglot, G., Czenczek-Lewandowska, E., & Pop, T. (2021). Changes in children's body composition and posture during puberty growth. *Children*, 8(4), Article 288. https://doi.org/10.3390/children8040288

Sun, S., Kong, Z., Shi, Q., Hu, M., Zhang, H., Zhang, D., & Nie, J. (2019). Non-energy-restricted low-carbohydrate diet combined with exercise intervention improved cardiometabolic health in overweight Chinese females. *Nutrients*, 11(12), Article 3051. https://doi.org/10.3390/nu11123051

Sun, S., Kong, Z., Shi, Q., Zhang, H., Lei, O., & Nie, J. (2021). Carbohydrate restriction with or without exercise training improves blood pressure and insulin sensitivity in overweight women. *Healthcare*, 9(6), Article 637. https://doi.org/10.3390/healthcare9060637

Tang, R., Fan, Y., Luo, M., Zhang, D., Xie, Z., Huang, F., Wang, Y., Liu, G., Wang, Y., Lin, S., & Chen, R. (2022). General and central obesity are associated with increased severity of the VMS and sexual symptoms of menopause among Chinese women: A longitudinal study. *Frontiers in Endocrinology*, 13, Article 814872. https://doi.org/10.3389/fendo.2022.814872

Xie, Y., Gu, Y., Li, Z., He, B., & Zhang, L. (2024). Effects of different exercises combined with different dietary interventions on body composition: A systematic review and network meta-analysis. *Nutrients*, 16(17), Article 3007. https://doi.org/10.3390/nu16173007

Отримано редакцією журналу / Received: 18.03.25
Прорецензовано / Revised: 19.04.25
Схвалено до друку / Accepted: 29.05.25

Yana DOLHA, PhD Student
ORCID ID: 0009-0002-8759-7403
e-mail: dolgayana@gmail.com
National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine

Viktoria PASTUKHOVA, DSc (Med.), Prof.
ORCID ID: 0000-0002-4091-913X
e-mail: vpastukhova@uni-sport.edu.ua
National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine

Ihor GONCHARENKO, DSc (Biol.), Prof.
ORCID ID: 0000-0001-5239-3270
e-mail: goncharenko.ihor@gmail.com
National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine

EFFECTIVENESS OF A LOW-CARBOHYDRATE DIET FOR CORRECTION OF THE PHYSICAL CONDITION OF WOMEN WHO ARE ACTIVATING FITNESS, DEPENDING ON AGE AND HEIGHT

B a c k g r o u n d . ***Problems associated with overweight and obesity are a pressing problem of modern society. Obesity and overweight have become a global epidemic that affects all age groups. Over the past decades, the number of overweight people has increased several times, causing a sharp increase in obesity-related problems. It is known that with increasing age, the risk of becoming overweight increases, starting from middle age. The aim of this study was to determine how body weight changes in women of different heights against the background of fitness classes with the use of a low-carbohydrate diet, depending on their age.***

M e t h o d s . ***The study lasted for a month and included questionnaires, assessment of anthropometric indicators, and the use of modern methods for determining body composition using scales-analyzers "Tanita BC-730". (Rusek at al., 2021). 30 women aged 19–49 participated in the study. The selection criteria were: complete absence of acute diseases during the month before the examination, absence of any complaints. Physical development was noted as harmonious and corresponded to age standards of physical development in all anthropometric indicators.***

R e s u l t s . ***After the experiment for 4 weeks, all women had a decrease in body weight and a correction of other indicators (BMI, BMI, OT), in particular, the maximum decrease in body weight was 9.5 kg, the minimum – 0.9 kg, and the average was 3.97 kg.***

C o n c l u s i o n s . ***The effectiveness of the use of a low-carbohydrate diet and the background of fitness classes is lower in women of shorter stature, it was also found that such indicators as MT, OT are easier to correct in women with an increase in their height. The effectiveness of the diet in women of the older age group, as well as fitness classes, was relatively lower in terms of body weight reduction.***

K e y w o r d s : ***body weight reduction, height, waist circumference, age, low-carbohydrate diet, fitness classes.***

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

УДК 616.382.1+616-056.52
DOI: https://doi.org/10.17721/1728.2748.2025.101.23-28

Роман ЯНКО, канд. біол. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0002-0397-7517
e-mail: biolag@ukr.net
Інститут фізіології імені О. О. Богомольця НАН України, Київ

ГІСТОМОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ БІЛОЇ ЖИРОВОЇ ТКАНИНИ У ЩУРІВ РІЗНОГО ВІКУ З ВІСЦЕРАЛЬНИМ ОЖИРІННЯМ

Вступ. ***Останнім часом поширеність ожиріння збільшується стрімкими темпами, досягаючи масштабів пандемії. Причинами ожиріння, насамперед, є особливості способу життя та неправильного харчування, переважно надмірна калорійність їжі. Досі немає одностайної думки щодо особливостей впливу вісцерального ожиріння на гістоморфологічні зміни білої жирової тканини у тварин різного віку. Мета роботи – порівняти морфологічні зміни білої жирової тканини у щурів різного віку з вісцеральним ожирінням.***

Методи. ***Дослідження проведено на самцях щурів лінії Вістар, віком 6 та 21 місяць. Вісцеральне ожиріння у тварин моделювали шляхом 12-тижневого їх утримання на висококалорійному раціоні (580 ккал/100 г), з надлишковим умістом жирів і вуглеводів. Контрольні тварини перебували на стандартному раціоні (330 ккал/ 100 г). Із білої жирової тканини виготовляли гістологічні препарати за стандартною методикою. Гістоморфометрію здійснювали за допомогою комп'ютерної програми "ImageJ".***

Результати. ***Виявлено, що у білій жировій тканині щурів (незалежно від їх віку), які отримували висококалорійний раціон харчування, відбувається зростання розмірів адипоцитів за рахунок накопичення в них тригліцеридів. Проте у молодих дослідних щурів кількість адипоцитів діаметром > 100 мкм була в 10 разів більшою, ніж у старих тварин. Це свідчить про гіпертрофічний тип ожиріння, а більш інтенсивне накопичення ліпідів у адипоцитах відбувається у молодому віці. Крім того, у білій жировій тканині шестимісячних дослідних щурів спостерігали зростання сполучної тканини. Тоді як у 21-місячних тварин кількість строми, навпаки, знижувалася. Зниження васкуляризації білої жирової тканини спостерігали в обох дослідних групах щурів.***

Висновки. ***Інтенсивність морфологічних змін білої жирової тканини залежала від ступеня ожиріння та віку тварин. У молодих щурів ці зміни були виражені більшою мірою, ніж у тварин старшого віку. Ці дані цікаві для практичної медицини при розробці нових ефективних методів профілактики та лікування вісцерального ожиріння у пацієнтів різного віку.***

Ключові слова: ***біла жирова тканина, вік, ожиріння, щури.***

Вступ

Ожиріння є не тільки проблемою для фахівців сфери охорони здоров'я, а й актуальним соціальним питанням. Надлишкове накопичення жиру в організмі є фактором ризику розвитку хронічних хвороб (Koenen et al., 2021). Приміром, ожиріння підвищує ризик серцево-судинних захворювань, цукрового діабету 2 типу та смертності загалом (Brown et al., 2023; La Sala, & Pontiroli, 2020; Scherer & Hill, 2016). Ожиріння є центральним компонентом розвитку метаболічного синдрому (Корильчук, 2018; O'Neill, & O'Driscoll, 2015). Зокрема, вісцеральне ожиріння пов'язане з інсулінорезистентністю, що, у свою чергу, призводить до гіперглікемії, гіпертензії, дисліпідемії та інших метаболічних аномалій (Lecube, 2024).

Біла жирова тканина (БЖТ) виконує цілий ряд різноманітних функцій, які підтримують енергетичний гомеостаз організму. В умовах надлишкової доступності енергії жирова тканина збільшує запаси ліпідів і передає надлишок поживних речовин до різних органів тіла. В умовах активного витрачання енергії, таких як голодування, впливу холоду або тривалих фізичних навантажень, тригліцериди, що зберігаються в БЖТ, вивільняються у вигляді вільних жирних кислот для підтримки переходу до катаболічного метаболізму (Von Bank, Kirsh, & Simcox, 2021). Крім того, адипоцити вісцеральної БЖТ синтезують ряд активних молекул: лептин, резистин, адипонектин, стероїди тощо (Урбанович, 2013; Silva Rosa, Liu, & Sweeney, 2021). Тому вісцеральна БЖТ є складним гормонально активним органом, який відіграє важливу роль у регуляції енергетичного балансу та гомеостазу всього організму (Cinti F., & Cinti S., 2022).

Виявлено, що вік сильно корелює з виборчим відкладенням жирової тканини в організмі. У молодих осіб надлишкове харчування переважно позначається у відкладенні жиру в підшкірній клітковині. З віком відбувається перерозподіл жирової тканини, а саме зростає її вісцеральний компонент і зменшується підшкірний (Stefan et al., 2013). У міру старіння організму клітинний склад жирових депо змінюється, сприяючи посиленню запальної клітинної інфільтрації, зниженню судинної мережі та збільшенню кількості (розмірів) адипоцитів і розміру ліпідних крапель у них (Cai, & He, 2023; Von Bank, Kirsh, & Simcox, 2021).

Вісцеральна БЖТ у процесі онтогенезу по-різному реагує на одні й ті самі несприятливі чинники. Не є винятком і вікова сприйнятливість цього органу до впливу вісцерального ожиріння. На сьогодні немає одностайної думки щодо особливостей впливу вісцерального ожиріння на гістоморфологічні зміни БЖТ у тварин різного віку. Тому, щоб порівняти та проаналізувати характер і ступінь виразності вікових структурних змін БЖТ при вісцеральному ожирінні, для експерименту ми взяли щурів різних вікових груп.

Інновація цього дослідження полягає у створені нами оптимальної моделі вісцерального ожиріння (Янко та ін., 2022), що дозволила змоделювати цю патологію, яка максимально наближена до її клінічного прояву у людини при харчуванні з надмірним умістом жирів і легкозасвоюваних вуглеводів. Уперше показано вікові відмінності у кількісному складі адипоцитів (залежно від їх розмірів) у БЖТ при ожирінні.

Мета роботи – дослідити й порівняти гістоморфологічні зміни білої жирової тканини у щурів різного віку з вісцеральним ожирінням

Методи

Для експерименту було відібрано 40 щурів самців лінії Вістар у віці 3 (вагою 250 ± 10 г) та 18 місяців

© Янко Роман, 2025

ISSN 1728-2748

(вагою 450 ± 10 г). Тварини були розділені на 4 групи (по 10 щурів у кожній): I, III – контрольні щури 3 та 18-місячного віку відповідно, II і IV – дослідні щури 3 та 18-місячного віку, які отримували висококалорійний раціон харчування. Наприклад, дослідні щури протягом 12-ти тижнів перебували на раціоні з надлишковим умістом жирів (45 %) та легкозасвоюваних вуглеводів (31 %). Кожен щур щодня отримував 6 г спеціально приготовленого гранульованого корму (70 % стандартного комбікорму з додаванням 30 % свинячого смальцю); 6,8 г свинячого сала; 3,6 г білих сухарів; 3,6 г соняшникового насіння, що сумарно становило 116 ккал. Тварини отримували корм *ad libitum* під щоденним контролем повноти його поїдання. Через день замість води дослідні щури отримували 10 % розчин фруктози. Контрольні тварини були на стандартному раціоні харчування. Щур контрольної групи щодня з'їдав 20 г збалансованого комбікорму, калорійність якого становила 66 ккал, і мав вільний доступ до води (Янко та ін., 2022). У кінці експерименту у щурів виділяли вісцеральний жир (шляхом механічного видалення з черевної порожнини) та гравіметричним методом визначали його вагу. Тварини перебували окремо у клітках із сітчастими перегородками. Щурів виводили з експерименту шляхом декапітації під ізофлурановою анестезією відповідно до Європейської конвенції про захист хребетних тварин (Страсбург, 1986).

Для гістоморфологічних досліджень рандомно відбирали зразки вісцеральної БЖТ із сальника, з яких виготовляли гістологічні препарати за стандартною методикою: фіксували в рідині Буена, зневоднювали у спиртах зростаючої концентрації. Отримані зразки заливали в парафін. Парафінові зрізи (завтовшки 6 мкм) виготовляли на санному мікротомі. Забарвлення отриманих зрізів здійснювали за Ван-Гізоном (Rehfeld, Nylander, & Karnov, 2017). З використанням цифрової камери мікропрепарати фотографували на мікроскопі "Nikon Eclipse E100" (Японія). Морфометрію здійснювали за допомогою комп'ютерної програми "ImageJ 1.34p" (Yanko, Safonov, & Levashov, 2024).

На мікропрепаратах БЖТ визначали відносну площу паренхіми, строми та судин, вимірювали середній діаметр і площу поперечного перерізу адипоцитів, площу ядер адипоцитів, визначали щільність розміщення адипоцитів на одиницю площі. За розміром (діаметром) проводили розподілення адипоцитів на три типи: A1 – діаметр < 50 мкм, A2 – діаметр 50–100 мкм, A3 – діаметр >100 мкм). Рахували 100 адипоцитів на різних зрізах. Кількість адипоцитів кожного типу виражали у відсотках від загальної кількості порахованих клітин. Вимірювали товщину стінок адипоцитів, визначали стромально-паренхіматозний індекс (відношення відносної площі судин і строми до площі паренхіми) та трофічний індекс (відношення відносної площі судин до площі паренхіми) (Costa et al., 2011; Miljkovic et al., 2022). Гістоморфометричний аналіз вісцеральної білої жирової тканини проводили на 10-ти мікрофотографіях кожного щура при збільшенні × 200.

Отримані дані обробляли методами варіаційної статистики за допомогою програмного забезпечення "Statistica 6.0 for Windows" (StatSoft, USA) та "Excel 2010" (Microsoft, USA). Дані представлені як середнє (M) ± стандартна похибка (m). Групи аналізували за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу, а потім t-тестів Бонферроні для багаторазових порівнянь. Достовірними вважали відмінності при $p < 0,05$.

Результати

Утримання щурів на висококалорійному раціоні протягом 12-ти тижнів призвело до розвитку вісцерального ожиріння, яке проявлялося у вірогідному збільшенні маси вісцерального жиру: у шестимісячних – з 19 г до 46,6 г (у 2,5 рази) та у 21 місячних тварин – із 23,9 г до 37,7 г (у 1,6 рази). Відносна маса вісцерального жиру у шестимісячних щурів зросла у 2,3 рази (із 4,7 до 10,8 %), а у 21-місячних тварин – у 1,5 рази (із 5,7 до 8,5 %).

Виявлено, що вісцеральна БЖТ як контрольних, так і дослідних щурів мала у своїй структурі паренхіматозний і стромальний компоненти. Паренхіма представлена жировими клітинами – адипоцитами, які виглядали оптично порожніми з вузьким цитоплазматичним обідком під цитолемою. У потовщеній частині цитоплазматичного обідка спостерігали зміщене до краю клітини (за рахунок великої краплі жиру) сплющене ядро. Адипоцити досить щільно прилягали один до одного. Форма та розмір адипоцитів у групах були різними. Приміром, у контрольних тварин клітини мали переважно овально-видовжену форму, а у щурів із вісцеральним ожирінням вони часто були неправильної форми та великих розмірів. Як у контрольних, так і у дослідних щурів стромальний компонент вісцеральної БЖТ був представлений судинами мікроциркуляторного русла, лімфатичними капілярами, нервовими волокнами і волокнами сполучної тканини. Прошарки пухкої сполучної тканини розділяли паренхіму на часточки (рис. 1).

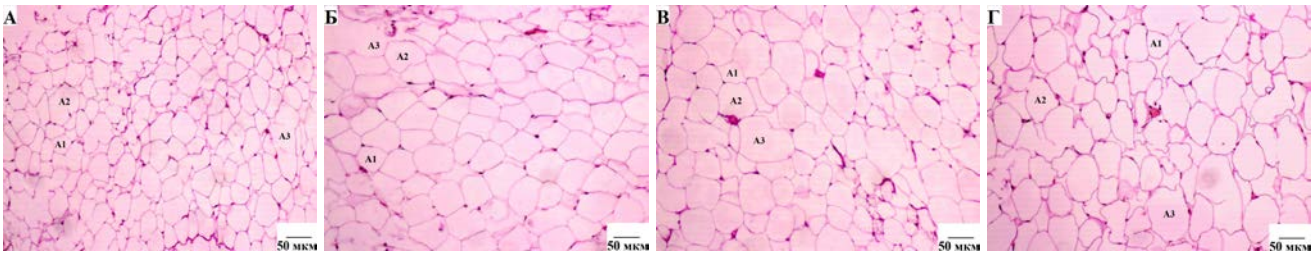


Рис. 1. Мікрофотографія вісцеральної білої жирової тканини контрольного щура (А – шестимісячні, Б – 21-місячні) та щура з вісцеральним ожирінням (В – шестимісячні, Г – 21-місячні)
(A1 – діаметр <50 мкм, A2 – діаметр 50–100 мкм, A3 – діаметр > 100 мкм.
Забарвлення за Ван-Гізоном × 200)

Вплив висококалорійного раціону змінював морфологічну структуру БЖТ щурів, а саме – призводив до гіпертрофії адипоцитів. У шестимісячних дослідних щурів спостерігали вірогідне зростання діаметра та площі адипоцитів на 16 і 50 % відповідно, порівняно з контролем. Площа ядра не змінювалася. При цьому щільність розміщення адипоцитів на одиницю площі була меншою на 19 % ($p < 0,05$). Товщина стінки

адипоцитів знижувалася на 17 % ($p < 0,05$). У 21-місячних дослідних щурів діаметр і площа адипоцитів були більші від контролю на 20 і 43 % відповідно. А площа ядра, навпаки, була вірогідно меншою на 38 %. Щільність розміщення адипоцитів і товщина стінок клітин мала тенденцію до зниження (табл. 1).

Таблиця 1

Гістоморфометричні показники білої жирової тканини (n = 10, M ± m)

Показники	Шестимісячні щури		21-місячні щури	
	Контроль	Ожиріння	Контроль	Ожиріння
Діаметр адипоцита, мкм	49,7 ± 1,3	57,7 ± 1,1*	57,7 ± 1,1^	69,3 ± 1,7*
Площа поперечного перерізу адипоцита, мкм^2	2408 ± 124	3608 ± 164*	3149 ± 158^	4517 ± 148*
Площа поперечного перерізу ядра адипоцита, мкм^2	17,5 ± 1,1	19,1 ± 1,0	27,0 ± 0,9^	16,8 ± 0,8*
Щільність розміщення адипоцитів, шт./мм^2	287 ± 11	233 ± 12*	225 ± 13^	208 ± 11
Товщина стінок адипоцитів, мкм	1,69 ± 0,08	1,41 ± 0,09*	2,01 ± 0,07^	1,90 ± 0,09
Відносна площа (%)				
паренхіми	91,3 ± 2,4	90,9 ± 1,8	88,4 ± 2,2	93,6 ± 1,9
сполучної тканини	4,4 ± 0,3	5,5 ± 0,2*	7,4 ± 0,2^	2,8 ± 0,1*
судин	4,3 ± 0,2	3,6 ± 0,1*	4,2 ± 0,2	3,6 ± 0,1*
Стромально-паренхіматозний індекс	0,095 ± 0,002	0,100 ± 0,005	0,131 ± 0,002^	0,068 ± 0,063*
Трофічний індекс	0,047 ± 0,001	0,040 ± 0,002*	0,048 ± 0,002	0,038 ± 0,003*

Примітка: *p < 0,05 – вірогідність порівняно з контролем; ^p < 0,05 – вірогідність порівняно з контрольними щурами шестимісячного віку.

У БЖТ дослідних шестимісячних тварин спостерігали вірогідно меншу кількість адипоцитів діаметром <50 мкм на 28 % (А1), більшу кількість клітин розміром 50–100 мкм на 30 % (А2) і кількість адипоцитів діаметром > 100 мкм (А3) у 7,9 разів порівняно з контролем. У 21-місячних дослідних щурів кількість адипоцитів типу А2 та А3 була вірогідно більшою на 39 і 66 % відповідно, а кількість клітин типу А1, навпаки, була меншою на 23 % ($p < 0,05$), ніж у контролі (рис. 2). Тобто, більш інтенсивне накопичення ліпідів у адипоцитах при ожирінні відбувається у молодому віці.

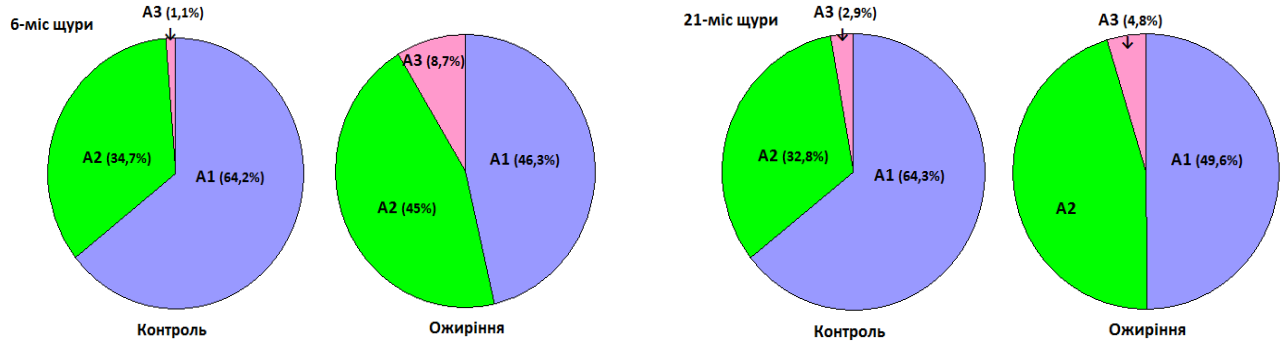


Рис. 2. Кількість адипоцитів різних типів у білій жировій тканині щурів
(А1 – діаметр < 50 мкм, А2 – діаметр 50–100 мкм, А3 – діаметр > 100 мкм. Кількість клітин кожного типу представлені у відсотках від загальної кількості порахованих адипоцитів)

У БЖТ шестимісячних щурів, які перебували на висококалорійному раціоні, спостерігали зростання відносної площі сполучної тканини 25 % ($p < 0,05$). У 21-місячних дослідних щурів, навпаки, кількість строми та стромально-паренхіматозний індекс вірогідно зменшилися на 62 і 48 % відповідно, порівняно з контролем. При цьому відносна площа судин і трофічний індекс вірогідно знижувалися як у шестимісячних щурів (на 16 і 15 % відповідно), так і у 21-місячних тварин (на 14 і 21 % відповідно), що свідчить про зменшення кровонаповнення жирової тканини при ожирінні (табл. 1).

Також нами виявлено гістоморфометричні відмінності у структурі БЖТ контрольних щурів різного віку. Приміром, у 21-місячних щурів, порівняно із шестимісячними, спостерігали вірогідно більші розміри адипоцитів (діаметр – на 16 %, площа – на 31 %), більшу площу ядер клітин (на 54 %), меншу щільність розміщення клітин (на 22 %), більшу товщину стінок адипоцитів (на 19 %) та відносну площу сполучної тканини (на 68 %). Також у 21-місячних щурів було помічено більшу у 2,6 рази кількість адипоцитів діаметром > 100 мкм, ніж у молодих щурів (табл. 1, рис. 1, 2). Усе це свідчить про зниження функції БЖТ із віком, накопичення в адипоцитах ліпідів, що узгоджується із загальною біологічною закономірністю.

Дискусія і висновки

Пов'язані з віком зміни клітинного й молекулярного складу жиру опосередковані депо-специфічним чином. Існує кілька різних жирових депо, включаючи: вісцеральну БЖТ, підшкірну БЖТ, буру та бежеву жирову тканину. Зі старінням ці депо мають підвищену інфільтрацію запальних клітин, більші краплі ліпідів і більшу кількість старіючих клітин (Tabula Muris Consortium, 2020). Термогенні депо жирової тканини, включаючи буру і бежеву жирову тканини, мають знижену функцію з віком, включаючи зменшення кількості мітохондрій,

збільшення запасів ліпідів і зниження використання енергії (Zoico et al., 2019). Жирові депо, які забезпечують прокладку та структурну підтримку, такі як підшкірна БЖТ, зменшуються з віком, зі збільшенням фіброзу та зменшенням кількості адипоцитів (Kruglikov, & Scherer, 2016). З віком у вісцеральній БЖТ відбуваються певні морфологічні зміни, а саме: зростає її маса за рахунок гіпертрофії клітин, знижується васкуляризація, зростають явища фіброзу та інфільтрація тканини імунними клітинами (Von Bank, Kirsh, & Simcox, 2021).

Зростання маси вісцерального жиру при вісцеральному ожирінні може відбуватися як гіпертрофічним (зростання розмірів адипоцитів), так і гіперпластичним (збільшення кількості клітин) шляхом (Muir et al., 2016). У нашому випадку зростання маси жирової тканини відбувалося за рахунок гіпертрофії клітин. Особливо виразно це спостерігається у молодих щурів. Відомо, що збільшення розмірів адипоцитів дозволяє БЖТ накопичувати більше ліпідів і захищати інші органи від ліпотоксичного стресу. Гіпертрофія клітин призводить до зменшення співвідношення площі поверхні до об'єму, і як наслідок, до неефективного транспортування поживних речовин і поганої сигналізації клітин, що спричиняє дисфункцію тканин і метаболічні розлади (Muir et al., 2016). При гіпертрофічному типу ожирінні знижується доступність БЖТ у кисні внаслідок погіршення васкуляризації, що призводить до гіпоксичного середовища (Crewe, An, & Scherer, 2017). А при гіперпластичному типу ожиріння зазвичай покращується чутливість до інсуліну у людей (Arner et al., 2010).

За тваринні моделі ожиріння часто використовують дієту з високим умістом жирів чи вуглеводів, або їх комбіноване поєднання. Споживання дієти з надмірною кількістю жиру (30–50 %) значно швидше призводить до збільшення індексу ожиріння та приросту вісцерального жиру, порівняно із фруктозною дієтою (de Moura e Dias et al., 2021). Matias та інші не спостерігали відмінностей у збільшенні ваги тіла після того, як тварини споживали дієту з високим умістом жиру чи цукру. Проте загальна маса БЖТ зростала, що вказує на розвиток ожиріння (Matias et al., 2018). Виявлено, що у щурів лінії Вістар споживання дієти з високим умістом жиру призвело до гіперплазії адипоцитів у підшкірній жировій тканині, тоді як у вісцеральній жировій тканині спостерігали гіпертрофію клітин (Boqué et al., 2009). Інші автори також зауважували, що споживання дієти з високим умістом жирів призводить до збільшення поглинання жирних кислот і ліпогенезу і, як наслідок, до гіперплазії (Heo, & Chong, 2018) та гіпертрофії (Yuan et al., 2018) адипоцитів. Споживання дієти з високим умістом фруктози (10–30 %) також призводить до розростання вісцеральної БЖТ за рахунок гіпертрофії адипоцитів. Однак розвиток ожиріння при такій дієті відбувається повільніше (Mamikutty et al., 2014).

Отже, у цьому дослідженні виявлено, що інтенсивність морфологічних змін БЖТ залежала від ступеня ожиріння і віку тварин. У молодих щурів ці зміни були виражені більшою мірою, ніж у тварин старшого віку. У БЖТ щурів (незалежно від їхнього віку), які отримували висококалорійний раціон харчування, відбувається зростання розмірів адипоцитів за рахунок накопичення в них тригліцеридів. Проте у молодих дослідних щурів кількість великих адипоцитів (діаметром > 100 мкм) була у 10 разів більшою, ніж у старих тварин. Це свідчить про гіпертрофічний тип ожиріння, а більш інтенсивне накопичення ліпідів у адипоцитах відбувається у молодому віці. Крім того, у БЖТ шестимісячних дослідних щурів помічали зростання сполучної тканини. Тоді як у 21-місячних тварин кількість строми, навпаки, знижувалася. Зниження васкуляризації БЖТ спостерігали в обох дослідних групах щурів. Ці дані цікаві для практичної медицини при розробці нових ефективних методів профілактики й лікування вісцерального ожиріння у пацієнтів різного віку. Подальша наукова робота у сфері вивчення факторів ризику, механізмів розвитку, діагностики та пошук методів профілактики й лікування вісцерального ожиріння є основою майбутніх наших досліджень.

Подяки, джерела фінансування. Робота виконана в рамках бюджетного фінансування НАН України за планом науково-дослідної роботи "Роль серотонінергічної системи в регуляції процесів регенерації сполучної тканини в нормі і патології" Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України (№ державної реєстрації: 0119U103965).

Список використаних джерел

Корильчук, Н. І. (2018). Ожиріння як передумова метаболічного синдрому (огляд літератури). *Вісник наукових досліджень,* 2, 29–34. https://doi.org/10.11603/2415-8798.2018.2.9192

Урбанович, А. (2013). Гормони жирової тканини та їх клінічне значення. *Ендокринологія,* 18(1), 69–72.

Янко, Р. В., Зінченко, А. С., Чака, О. Г., & Левашов, М. І. (2022). *Спосіб моделювання аліментарного жирового гепатозу у лабораторних щурів* (Патент України № 150511). Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України.

Arner, E., Westermark, P. O., Spalding, K. L., Britton, T., Rydén, M., Frisén, J., Bernard, S., & Arner, P. (2010). Adipocyte turnover: Relevance to human adipose tissue morphology. *Diabetes,* 59(1), 105–109. https://doi.org/10.2337/db09-0942

Boqué, N., Campión, J., Paternain, L., García-Díaz, D. F., Galarraga, M., Portillo, M. P., Milagro, F. I., Ortiz de Solórzano, C., & Martínez, J. A. (2009). Influence of dietary macronutrient composition on adiposity and cellularity of different fat depots in Wistar rats. *Journal of Physiology and Biochemistry,* 65(4), 387–396.

Brown, O. I., Drozd, M., McGowan, H., Giannoudi, M., Conning-Rowland, M., Gierula, J., Straw, S., Wheatcroft, S. B., Bridge, K., Roberts, L. D., Levelt, E., Ajjan, R., Griffin, K. J., Bailey, M. A., Kearney, M. T., & Cubbon, R. M. (2023). Relationship among diabetes, obesity, and cardiovascular disease phenotypes: A UK Biobank cohort study. *Diabetes Care,* 46(8), 1531–1540. https://doi.org/10.2337/dc23-0294

Cai, Z., & He, B. (2022). Adipose tissue aging: An update on mechanisms and therapeutic strategies. *Metabolism,* 138, Article 155328. https://doi.org/10.1016/j.metabol.2022.155328

Cinti, F., & Cinti, S. (2022). The endocrine adipose organ: A system playing a central role in COVID-19. *Cells,* 11(13), Article 2109. https://doi.org/10.3390/cells11132109

Costa, S. S., Blotta, R. M., Meurer, L., & Edelweiss, M. I. (2011). Adipocyte morphometric evaluation and angiogenesis in the omentum transposed to the breast: A preliminary study. *Clinics,* 66(2), 307–312. https://doi.org/10.1590/s1807-59322011000200021

Crewe, C., An, Y. A., & Scherer, P. E. (2017). The ominous triad of adipose tissue dysfunction: Inflammation, fibrosis, and impaired angiogenesis. *Journal of Clinical Investigation,* 127(1), 74–82. https://doi.org/10.1172/JCI88883

de Moura e Dias, M., dos Reis, S. A., da Conceição, L. L., Sediyama, C. M. N. O., Pereira, S. S., de Oliveira, L. L., Gouveia Peluzio, M. d. C., Martinez, J. A., & Milagro, F. I. (2021). Diet-induced obesity in animal models: Points to consider and influence on metabolic markers. *Diabetology & Metabolic Syndrome,* 13(1), Article 32. https://doi.org/10.1186/s13098-021-00647-2

Heo, M. G., & Chong, S. Y. (2018). Anti-obesity effects of *Spirulina maxima* in high fat diet induced obese rats via the activation of AMPK pathway and SIRT1. *Food & Function,* 9(9), 4906–4915. https://doi.org/10.1039/c8fo00986d

Koenen, M., Hill, M. A., Cohen, P., & Sowers, J. R. (2021). Obesity, adipose tissue and vascular dysfunction. *Circulation Research,* 128(7), 951–968. https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.121.318093

Kruglikov, I. L., & Scherer, P. E. (2016). Skin aging: Are adipocytes the next target? *Aging,* 8(7), 1457–1469. https://doi.org/10.18632/aging.100999

La Sala, L., & Pontiroli, A. E. (2020). Prevention of diabetes and cardiovascular disease in obesity. *International Journal of Molecular Sciences,* 21(21), Article 8178. https://doi.org/10.3390/ijms21218178

Lecube, A. (2024). Impacto de la obesidad y la diabetes en la salud y en la enfermedad cardiovascular (Impact of obesity and diabetes on health and cardiovascular disease). *Atención Primaria,* 56(12), Article 103045. https://doi.org/10.1016/j.aprim.2024.103045

Mamikutty, N., Thent, Z. C., Sapri, S. R., Sahruddin, N. N., Mohd Yusof, M. R., & Haji Suhaimi, F. (2014). The establishment of metabolic

syndrome model by induction of fructose drinking water in male Wistar rats. *BioMed Research International,* Article 263897. https://doi.org/10.1155/2014/263897

Matias, A. M., Estevam, W. M., Coelho, P. M., Haese, D., Kobi, J., Lima-Leopoldo, A. P., & Leopoldo, A. S. (2018). Differential effects of high sugar, high lard or a combination of both on nutritional, hormonal and cardiovascular metabolic profiles of rodents. *Nutrients,* 10(8), Article 1071. https://doi.org/10.3390/nu10081071

Miljkovic, D., Drijaca, J., Loverenski, A., & Gajic, M. (2022). A comprehensive morphometric study of visceral and subcutaneous adipose tissue depots in mice, hamsters and rats. *International Journal of Morphology,* 40(5), 1219–1227. https://doi.org/10.4067/S0717-95022022000501219

Muir, L. A., Neeley, C. K., Meyer, K. A., Baker, N. A., Brosius, A. M., Washabaugh, A. R., Varban, O. A., Finks, J. F., Zamarron, B. F., Flesher, C. G., Chang, J. S., DelProposto, J. B., Geletka, L., Martinez-Santibanez, G., Kaciroti, N., Lumeng, C. N., & O'Rourke, R. W. (2016). Adipose tissue fibrosis, hypertrophy, and hyperplasia: Correlations with diabetes in human obesity. *Obesity,* 24(3), 597–605. https://doi.org/10.1002/oby.21377

O'Neill, S., & O'Driscoll, L. (2015). Metabolic syndrome: A closer look at the growing epidemic and its associated pathologies. *Obesity Reviews,* 16(1), 1–12. https://doi.org/10.1111/obr.12229

Rehfeld, A., Nylander, M., & Karnov, K. (2017). Histological methods. In A. Rehfeld, M. Nylander, & K. Karnov (Eds.), *Compendium of Histology* (pp. 11–24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41873-5_2

Scherer, P. E., & Hill, J. A. (2016). Obesity, diabetes, and cardiovascular diseases: A compendium. *Circulation Research,* 118(11), 1703–1705. https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.308999

Silva Rosa, S. C., Liu, M., & Sweeney, G. (2021). Adiponectin synthesis, secretion and extravasation from circulation to interstitial space. *Physiology,* 36(3), 134–149. https://doi.org/10.1152/physiol.00031.2020

Stefan, N., Häring, H. U., Hu, F. B., & Schulze, M. B. (2013). Metabolically healthy obesity: Epidemiology, mechanisms, and clinical implications. *The Lancet Diabetes & Endocrinology,* 1(2), 152–162. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(13)70062-7

Tabula Muris Consortium. (2020). A single-cell transcriptomic atlas characterizes ageing tissues in the mouse. *Nature,* 583(7817), 590–595. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2496-1

Von Bank, H., Kirsh, C., & Simcox, J. (2021). Aging adipose: Depot location dictates age-associated expansion and dysfunction. *Ageing Research Reviews,* 67, Article 101259. https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101259

Yanko, R. V., Safonov, S. L., & Levashov, M. I. (2024). Morphological features of white adipose tissue in rats with different levels of energy metabolism in visceral obesity. *Reports of Morphology,* 30(4), 44–51. https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2024-30(4)-05

Yuan, E., Duan, X., Xiang, L., Ren, J., Lai, X., Li, Q., Sun, L., & Sun, S. (2018). Aged oolong tea reduces high-fat diet-induced fat accumulation and dyslipidemia by regulating the AMPK/ACC signaling pathway. *Nutrients,* 10(2), Article 187. https://doi.org/10.3390/nu10020187

Zoico, E., Rubele, S., De Caro, A., Nori, N., Mazzali, G., Fantin, F., Rossi, A., & Zamboni, M. (2019). Brown and beige adipose tissue and aging. *Frontiers in Endocrinology,* 10, Article 368. https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00368

References

Arner, E., Westermark, P. O., Spalding, K. L., Britton, T., Rydén, M., Frisén, J., Bernard, S., & Arner, P. (2010). Adipocyte turnover: Relevance to human adipose tissue morphology. *Diabetes,* 59(1), 105–109. https://doi.org/10.2337/db09-0942

Boqué, N., Campión, J., Paternain, L., García-Díaz, D. F., Galarraga, M., Portillo, M. P., Milagro, F. I., Ortiz de Solórzano, C., & Martínez, J. A. (2009). Influence of dietary macronutrient composition on adiposity and cellularity of different fat depots in Wistar rats. *Journal of Physiology and Biochemistry,* 65(4), 387–396.

Brown, O. I., Drozd, M., McGowan, H., Giannoudi, M., Conning-Rowland, M., Gierula, J., Straw, S., Wheatcroft, S. B., Bridge, K., Roberts, L. D., Levelt, E., Ajjan, R., Griffin, K. J., Bailey, M. A., Kearney, M. T., & Cubbon, R. M. (2023). Relationship among diabetes, obesity, and cardiovascular disease phenotypes: A UK Biobank cohort study. *Diabetes Care,* 46(8), 1531–1540. https://doi.org/10.2337/dc23-0294

Cai, Z., & He, B. (2022). Adipose tissue aging: An update on mechanisms and therapeutic strategies. *Metabolism,* 138, Article 155328. https://doi.org/10.1016/j.metabol.2022.155328

Cinti, F., & Cinti, S. (2022). The endocrine adipose organ: A system playing a central role in COVID-19. *Cells,* 11(13), Article 2109. https://doi.org/10.3390/cells11132109

Costa, S. S., Blotta, R. M., Meurer, L., & Edelweiss, M. I. (2011). Adipocyte morphometric evaluation and angiogenesis in the omentum transposed to the breast: A preliminary study. *Clinics,* 66(2), 307–312. https://doi.org/10.1590/s1807-59322011000200021

Crewe, C., An, Y. A., & Scherer, P. E. (2017). The ominous triad of adipose tissue dysfunction: Inflammation, fibrosis, and impaired angiogenesis. *Journal of Clinical Investigation,* 127(1), 74–82. https://doi.org/10.1172/JCI88883

de Moura e Dias, M., dos Reis, S. A., da Conceição, L. L., Sediyama, C. M. N. O., Pereira, S. S., de Oliveira, L. L., Gouveia Peluzio, M. d. C., Martinez, J. A., & Milagro, F. I. (2021). Diet-induced obesity in animal models: Points to consider and influence on metabolic markers. *Diabetology & Metabolic Syndrome,* 13(1), Article 32. https://doi.org/10.1186/s13098-021-00647-2

Heo, M. G., & Chong, S. Y. (2018). Anti-obesity effects of *Spirulina maxima* in high fat diet induced obese rats via the activation of AMPK pathway and SIRT1. *Food & Function,* 9(9), 4906–4915. https://doi.org/10.1039/c8fo00986d

Koenen, M., Hill, M. A., Cohen, P., & Sowers, J. R. (2021). Obesity, adipose tissue and vascular dysfunction. *Circulation Research,* 128(7), 951–968. https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.121.318093

Korylchuk, N. I. (2018). Obesity as a prerequisite for metabolic syndrome (literature review). *Bulletin of Scientific Research,* 2, 29–34 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.11603/2415-8798.2018.2.9192.

Kruglikov, I. L., & Scherer, P. E. (2016). Skin aging: Are adipocytes the next target? *Aging,* 8(7), 1457–1469. https://doi.org/10.18632/aging.100999

La Sala, L., & Pontiroli, A. E. (2020). Prevention of diabetes and cardiovascular disease in obesity. *International Journal of Molecular Sciences,* 21(21), Article 8178. https://doi.org/10.3390/ijms21218178

Lecube, A. (2024). Impacto de la obesidad y la diabetes en la salud y en la enfermedad cardiovascular (Impact of obesity and diabetes on health and cardiovascular disease). *Atención Primaria,* 56(12), Article 103045. https://doi.org/10.1016/j.aprim.2024.103045

Mamikutty, N., Thent, Z. C., Sapri, S. R., Sahruddin, N. N., Mohd Yusof, M. R., & Haji Suhaimi, F. (2014). The establishment of metabolic syndrome model by induction of fructose drinking water in male Wistar rats. *BioMed Research International,* Article 263897. https://doi.org/10.1155/2014/263897

Matias, A. M., Estevam, W. M., Coelho, P. M., Haese, D., Kobi, J., Lima-Leopoldo, A. P., & Leopoldo, A. S. (2018). Differential effects of high sugar, high lard or a combination of both on nutritional, hormonal and cardiovascular metabolic profiles of rodents. *Nutrients,* 10(8), Article 1071. https://doi.org/10.3390/nu10081071

Miljkovic, D., Drijaca, J., Loverenski, A., & Gajic, M. (2022). A comprehensive morphometric study of visceral and subcutaneous adipose tissue depots in mice, hamsters and rats. *International Journal of Morphology,* 40(5), 1219–1227. https://doi.org/10.4067/S0717-95022022000501219

Muir, L. A., Neeley, C. K., Meyer, K. A., Baker, N. A., Brosius, A. M., Washabaugh, A. R., Varban, O. A., Finks, J. F., Zamarron, B. F., Flesher, C. G., Chang, J. S., DelProposto, J. B., Geletka, L., Martinez-Santibanez, G., Kaciroti, N., Lumeng, C. N., & O'Rourke, R. W. (2016). Adipose tissue fibrosis, hypertrophy, and hyperplasia: Correlations with diabetes in human obesity. *Obesity,* 24(3), 597–605. https://doi.org/10.1002/oby.21377

O'Neill, S., & O'Driscoll, L. (2015). Metabolic syndrome: A closer look at the growing epidemic and its associated pathologies. *Obesity Reviews,* 16(1), 1–12. https://doi.org/10.1111/obr.12229

Rehfeld, A., Nylander, M., & Karnov, K. (2017). Histological methods. In A. Rehfeld, M. Nylander, & K. Karnov (Eds.), *Compendium of histology* (pp. 11–24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41873-5_2

Scherer, P. E., & Hill, J. A. (2016). Obesity, diabetes, and cardiovascular diseases: A compendium. *Circulation Research,* 118(11), 1703–1705. https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.308999

Silva Rosa, S. C., Liu, M., & Sweeney, G. (2021). Adiponectin synthesis, secretion and extravasation from circulation to interstitial space. *Physiology,* 36(3), 134–149. https://doi.org/10.1152/physiol.00031.2020

Stefan, N., Häring, H. U., Hu, F. B., & Schulze, M. B. (2013). Metabolically healthy obesity: Epidemiology, mechanisms, and clinical implications. *The Lancet Diabetes & Endocrinology,* 1(2), 152–162. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(13)70062-7

Tabula Muris Consortium. (2020). A single-cell transcriptomic atlas characterizes ageing tissues in the mouse. *Nature,* 583(7817), 590–595. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2496-1

Urbanovich, A. (2013). Adipose tissue hormones and their clinical significance. *Endokrynologia,* 18(1), 69–72 [in Ukrainian].

Von Bank, H., Kirsh, C., & Simcox, J. (2021). Aging adipose: Depot location dictates age-associated expansion and dysfunction. *Ageing Research Reviews,* 67, Article 101259. https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101259

Yanko, R. V., Zinchenko, A. S., Chaka, O. G., & Levashov, M. I. (2022). *Method of modeling alimentary fatty liver disease in laboratory rats* (Ukraine Patent No. 150511). Bogomoletz Institute of Physiology National Academy of Science of Ukraine [in Ukrainian].

Yanko, R. V., Safonov, S. L., & Levashov, M. I. (2024). Morphological features of white adipose tissue in rats with different levels of energy metabolism in visceral obesity. *Reports of Morphology,* 30(4), 44–51. https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2024-30(4)-05

Yuan, E., Duan, X., Xiang, L., Ren, J., Lai, X., Li, Q., Sun, L., & Sun, S. (2018). Aged oolong tea reduces high-fat diet-induced fat accumulation and dyslipidemia by regulating the AMPK/ACC signaling pathway. *Nutrients,* 10(2), Article 187. https://doi.org/10.3390/nu10020187

Zoico, E., Rubele, S., De Caro, A., Nori, N., Mazzali, G., Fantin, F., Rossi, A., & Zamboni, M. (2019). Brown and beige adipose tissue and aging. *Frontiers in Endocrinology,* 10, Article 368. https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00368

Отримано редакцією журналу / Received: 13.03.25
Прорецензовано / Revised: 22.04.25
Схвалено до друку / Accepted: 29.05.25

Roman YANKO, PhD (Biol.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-0397-7517
e-mail: biolag@ukr.net
Bogomoletz Institute of Physiology National Academy of Science of Ukraine, Kyiv

HISTOMORPHOLOGICAL FEATURES OF WHITE ADIPOSE TISSUE IN RATS OF DIFFERENT AGES WITH VISCERAL OBESITY

B a c k g r o u n d . ***Recently, the prevalence of obesity has been increasing rapidly, reaching pandemic proportions. The causes of obesity are primarily lifestyle and malnutrition, mainly excessive calorie intake. There is still no consensus on the specifics of the influence of visceral obesity on histomorphological changes in white adipose tissue in animals of different ages.*** **The aim** ***of the work was to compare morphological changes in white adipose tissue in rats of different ages with visceral obesity.***

M e t h o d s . ***The study was conducted on male Wistar rat's line, aged 6 and 21 months. Visceral obesity in animals was modeled by keeping them on a high-calorie diet (580 kcal / 100 g) for 12 weeks, with an excess of fats and carbohydrates. Control animals were on a standard diet (330 kcal / 100 g). Histological preparations were prepared from the white adipose tissue using standard methods. Histomorphometry was performed using the computer program "ImageJ".***

R e s u l t s . ***It was found that in the white adipose tissue of rats (regardless of their age) that received a high-calorie diet, an increase in the size of adipocytes occurs due to the accumulation of triglycerides in them. However, in young experimental rats, the number of adipocytes with a diameter of >100 μm was 10 times greater than in old animals. This indicates a hypertrophic type of obesity, and a more intense accumulation of lipids in adipocytes occurs at a young age. In addition, in the white adipose tissue of 6 month-old experimental rats, an increase in connective tissue was noted. While in 21 month-old animals, the amount of connective tissue, on the contrary, decreased. A decrease in white adipose tissue vascularization was observed in both experimental groups of rats.***

C o n c l u s i o n s . ***The intensity of morphological changes in the white adipose tissue depended on the degree of obesity and the age of the animals. In young rats, these changes were more pronounced than in older animals. These data are of interest for practical medicine in the development of new effective methods for the prevention and treatment of visceral obesity in patients of different ages.***

K e y w o r d s : ***white adipose tissue, age, obesity, rats*****.**

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The author declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

УДК 577:[636.09:612.43]
DOI: https://doi.org/10.17721/1728.2748.2025.101.29-33

Ірина ГЛОЖИК, канд. біол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-5467-9229
e-mail: glozyk.ira@gmail.com
Львівський державний університет фізичної культури ім. Івана Боберського, Львів, Україна

ВПЛИВ ІНСУЛІНОРЕЗИСТЕНТНОСТІ ТА ІНСУЛІНОРЕЗИСТЕНТНОСТІ У ПОЄДНАННІ ІЗ ЙОДОДЕФІЦИТОМ НА ТИРЕОЇДНИЙ ГОМЕОСТАЗ І ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ ПОКАЗНИКАМИ ЛІПІДНОГО СПЕКТРА ТА ВМІСТОМ ЕСЕНЦІАЛЬНИХ БІОЕЛЕМЕНТІВ У КРОВІ ЩУРІВ

Вступ. ***Інсулінорезистентність – це нездатність екзогенного чи ендогенного інсуліну контролювати рівень глюкози, порушення біологічної відповіді на дію інсуліну у тканинах-мішенях, особливо в печінці, м'язах і жировій тканині. З літературних джерел відомо, що дисфункція щитоподібної залози взаємопов'язана з інсулінорезистентністю, однак результати є суперечливими. Зростає необхідність досліджень, присвячених взаємозв'язку між інсулінорезистентністю й метаболічними особливостями організму.***

Методи. ***Дослідження проведено на 45-ти білих нелінійних щурах масою 120–180 г, поділені на три групи: інтактні тварини (контрольна група, n = 15), тварини з інсулінорезистентністю (перша дослідна група, n = 15), тварини з інсулінорезистентністю у поєднанні з йододефіцитом (друга дослідна група). Ліпідний спектр сироватки крові оцінювали за вмістом загального холестеролу (ХС), ліпопротеїнів високої щільності (ЛПВЩ), ліпопротеїнів низької щільності (ЛПНЩ), триацилгліцеридів (ТАГ) і обчислювали коефіцієнт атерогенності (КА). В еритроцитарній масі щурів визначали вміст цинку, магнію, міді й заліза. Для оцінки тиреоїдного статусу тварин визначали вміст вільних трийодтироніну (Т3) та тироксину (Т4), тиреотропного гормону (ТТГ) у сироватці крові з наступним обчисленням індексів Т3/Т4 та ТТГ/Т4.***

Результати. ***У тварин дослідних груп виявили збільшення вмісту загального холестеролу, триацилгліцеролів, зниження вмісту ЛПВЩ і збільшення ЛПНЩ. Щодо мінеральних елементів, то у еритроцитарній масі тварин дослідних груп виявлено зниження вмісту магнію, цинку й заліза. Найбільші відмінності між дослідними групами і контролем стосуються вмісту магнію та цинку. Вміст міді в еритроцитарній масі тварин дослідних груп є дещо вищим порівняно із контролем. У тварин дослідних груп виявили зниження рівня Т3 і Т4 та збільшення вмісту ТТГ. У тварин другої дослідної групи, які отримували високовуглеводну дієту на тлі йододефіциту, виявили більш суттєві зміни тиреоїдного статусу порівняно з контролем.***

Висновки. ***Поглибленого вивчення потребують деякі питання, зокрема взаємозв'язок інсулінорезистентності та гіпотиреозу, а також дослідження структурно-функціональних особливостей гепатоцитів за умов поєднання гіпотиреозу й інсулінорезистентності.***

Ключові слова: ***тиреоїдні гормони, інсулін, мінеральні елементи.***

Вступ

Інсулінорезистентність – це нездатність екзогенного чи ендогенного інсуліну контролювати рівень глюкози, порушення біологічної відповіді на дію інсуліну в тканинах-мішенях, особливо в печінці, м'язах і жировій тканині (Tahapary et al., 2022).

Інсулін відіграє важливу роль у підтримці фізіологічного рівня глюкози в крові шляхом різних впливів на клітини-мішені. В ендотеліальних клітинах він сприяє вивільненню оксиду азоту й ендотеліну, які, відповідно, сприяють вазодилатації та вазоконстрикції, а комбінований вазодилататорний і вазоконстрикторний ефекти покращують розподіл глюкози крові до таких органів-мішеней, як скелетні м'язи (Kolka, & Bergman, 2013). Інсулін сприяє синтезу глікогену в гепатоцитах, міоцитах, адипоцитах, знижує експресію глюконеогенетичних ферментів у гепатоцитах і сприяє поглинанню глюкози через рецептор GLUT 4 у міоцитах і адипоцитах (Siddle, 2011; Dimitriadis et al., 2011). У певних типах нейронів гіпоталамуса він пригнічує експресію орексигенних нейропептидів і тим самим сприяє зниженню споживання їжі (Kleinridders et al., 2014; Clegg et al., 2011; Onyango, 2018).

Інсулінорезистентність уважається важливим і незалежним фактором, що спричиняє розвиток серцево-судинних захворювань і хвороби Альцгеймера (Onyango, 2018). Клінічно резистентність до інсуліну проявляється такими метаболічними наслідками, як гіперглікемія, гіпертензія, дисліпідемія, ендотеліальна дисфункція (Nolan, 2017; Tahapary et al., 2022). Інсулінорезистентність може бути спричинена генетичними чинниками, які зумовлюють відхилення у функціонуванні будь-якого з компонентів інсулінового сигнального каскаду, а також набутими факторами (Sujatha, 2013; Uluisik, Karakaya, & Koc, 2018; Dubey, Thakur, & Chattopadhyay, 2020).

Результати останніх досліджень указують на те, що такі фактори, як відсутність фізичної активності, гіпоксія, психологічний стрес і забруднювачі навколишнього середовища викликають мережу клітинних стресів, реакцій на стрес і дисрегуляції відповіді на стрес, які спільно пригнічують передачу сигналів інсуліну в клітинах-мішенях, включаючи ендотеліальні клітини, гепатоцити, міоцити, нейрони гіпоталамуса та адипоцити. Клітинний стрес, що індукує резистентність до інсуліну, включає окислювальний, нітрозативний, карбонільний/електрофільний, генотоксичний стрес і стрес ендоплазматичного ретикулуму. Клітини-мішені інсуліну також виробляють метаболіти, які посилюють генерацію клітинного стресу як локально, так і системно, підтримуючи стан хронічного запалення. Таким чином, інсулінорезистентності можна запобігти або послабити її кількома підходами, спрямованими на різні види клітинного стресу та реакції на стрес (Onyango, 2018; Aslan Çin et al., 2020).

Гормони щитоподібної залози є медіаторами метаболізму організму і відіграють важливу роль в енергетичному гомеостазі. Зростає кількість досліджень взаємозв'язку між дисфункцією щитоподібної залози, інсулінорезистентністю й метаболічним синдромом. Відомо, що гіпертиреоз спричиняє гіперглікемію, тиреотоксикоз стає причиною розвитку діабетичного кетоацидозу, а гіпотиреоз визнаний фактором ризику розвитку метаболічного синдрому. З літературних джерел відомо, що дисфункція щитоподібної залози пов'язана з інсуліно-

© Гложик Ірина, 2025

резистентністю, але результати досліджень є суперечливими (Sun, 2018; Zhang, 2017; Badran, 2016; Wolide, 2017).

Важлива роль у формуванні порушень функціонування будь-якого з компонентів інсулінового сигнального каскаду відводиться мінеральним елементам (Nordberg, M., & Nordberg, G. F., 2016).

Через суперечливість результатів зростає необхідність досліджень, присвячених взаємозв'язку між інсулінорезистентністю та метаболічними особливостями організму (Dubey, Thakur, & Chattopadhyay, 2020).

Метою роботи було дослідження тиреоїдного гомеостазу, взаємозв'язку між показниками ліпідного спектра крові та вмістом есенціальних біоелементів у крові щурів з інсулінорезистентністю та інсулінорезистентності у поєднанні з йододефіцитом.

Методи

Дослідження проведено на 45-ти білих нелінійних щурах масою 120–180 г, поділені на три групи: інтактні тварини (контрольна група, n = 15), тварини з інсулінорезистентністю (перша дослідна група, n = 15), тварини з інсулінорезистентністю у поєднанні з йододефіцитом (друга дослідна група). Розвиток набутої інсулінорезистентності у дослідних тварин відтворювали шляхом додавання до раціону замість питної води 20 % розчину фруктози впродовж 8 тижнів (Соколова, Болгарська, & Островерхова, 2017). Тварини другої дослідної групи перебували на високовуглеводній дієті за умови йододефіциту. Йододефіцитний стан відтворювали шляхом перебування тварин на йододефіцитній дієті, яка містила продукти з обмеженим умістом мікроелемента, а саме складалась із кукурудзяної муки (6,0 = од. маси – о. м.), пшеничної клітковини (2,5 о. м.), пивних дріжджів (1,0 о. м.), карбонату кальцію (0,15 о. м.), хлориду натрію (0,15 о. м.), 10,0 мл кукурудзяної олії (Martinez-Galan,1997).

Ця робота є фрагментом планових науково-дослідних робіт Івано-Франківського національного медичного університету кафедри фізіології на тему "Метаболічні основи впливу есенціальних мікроелементів на забезпечення структурного і функціонального гомеостазу щитоподібної залози", № державної реєстрації 0111U000871. Згідно з рішенням комісії з питань етики Івано-Франківського національного медичного університету МОЗ України (протокол № 123/21 від 21.09.2021) визначено, що проведені дослідження повною мірою відповідають основним положенням Правил проведення робіт із використанням лабораторних тварин (1977), Конвенції Ради Європи про охорону хребетних тварин, яких використовують в експериментах та інших наукових цілях (1986), Директиви ЄЕС № 609 (1986), Наказу МОЗ України № 281 від 01.11.2000 р. "Про міри з подальшого вдосконалення організаційних норм роботи з використанням експериментальних тварин" та Закону України № 3447-IV "Про захист тварин від жорстокого поводження" (2006). Утримання тварин та експерименти проводилися відповідно до положень "Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментів та інших наукових цілей" (Страсбург, 2005), "Загальних етичних принципів експериментів на тваринах", ухвалених П'ятим національним конгресом з біоетики (Київ, 2013). Евтаназію здійснювали шляхом декапітації під кетаміновим наркозом (100 мг/кг маси тіла).

Концентрацію ХС, ЛПНЩ, ЛПВЩ, ТАГ у сироватці крові визначали за допомогою наборів реактивів ТОВ НВП "Філісіт-Діагностика" (Дніпро, Україна) на спектрофотометрі LV/VIS ULAB (модель 108/108 UV, Китай).

Вміст цинку, магнію, міді та заліза визначали в еритроцитарній масі щурів методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії на спектрофотометрі SPECORD M 40 (Німеччина) (Влізло та ін., 2012).

Для оцінки тиреоїдного статусу тварин визначали концентрацію вільних трийодтироніну (Т3) та тироксину (Т4), тиреотропного гормону (ТТГ) у сироватці крові методом імуноферментного аналізу на аналізаторі ER-500 Sinnowa (Китай) із застосовуванням стандартного набору реактивів адаптованого для тварин (щурів) "ELISA" (Elabscience, США) з подальшим обчисленням індексів Т3/Т4 та ТТГ/Т4 (Воронич-Семченко, & Гуранич, 2014).

Отримані дані опрацьовані статистично за допомогою програмного забезпечення Excel ("Microsoft", США) і Statisticav.10.1. ("Statsoft", США) методом варіаційної статистики з використанням U-критерію Манна-Уітні та критерію Стьюдента. Статистично достовірно вважали різницю при $p < 0,05$.

Результати

У еритроцитарній масі тварин першої дослідної групи виявили зниження вмісту магнію на 38,52 %, а у тварин другої дослідної групи вміст магнію нижчий порівняно з контролем на 41,21 %. Уміст міді у тварин дослідних груп істотно не відрізняється від контролю. У першій і другій контрольних групах він вищий щодо контролю на 7,91 % та 13,67 % відповідно. Більш істотними є зміни вмісту цинку у крові контрольних груп. Приміром, у тварин першої та другої дослідних груп уміст цинку нижчий порівняно до контролю на 36,07 % та 36,89 % відповідно. Вміст заліза нижчий порівняно до контролю на 12,62 % у тварин першої дослідної групи та 21,85 % – у тварин другої дослідної групи (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст есенціальних біоелементів у еритроцитарній масі щурів з інсулінорезистентністю та інсулінорезистентністю у поєднанні з йододефіцитом (M ± m)

Група тварин	Магній, мкг/г	Мідь, мкг/г	Цинк, мкг/г	Залізо, мкг/г
Контрольна (інтактні тварини, *n* = 15)	38,24 ± 3,45	1,39 ± 0,11	3,66 ± 0,29 p < 0,05	3,5±2,40
Дослідна (тварини з інсулінорезистентністю, *n* = 15)	23,51 ± 1,68 p < 0,01	1,50 ± 0,03 p < 0,05	2,34 ± 0,19 p < 0,05	28,4±1,95
Дослідна (тварини з інсулінорезистентністю у поєднанні з йододефіцитом, *n* = 15)	22,48±1,45 p < 0,01	1,58±0,02 p < 0,05	2,31±0,12 p < 0,05	25,4±1,88 p < 0,05

У групі тварин з інсулінорезистентністю спостерігали підвищення концентрації холестеролу на 71,53 % (p <0,01) стосовно контролю, уміст ТАГ зріс на 55,6 % (p < 0,05), ЛПНЩ перевищували контроль у 2,1 разу

(p < 0,01), а ЛПВЩ знизились щодо контролю на 79,41 % (p < 0,01). У тварин другої дослідної групи виявлено підвищення концентрації холестеролу у два рази стосовно контролю (p <0,01), уміст ТАГ зріс на 60,32 % (p < 0,05), ЛПНЩ перевищували контроль у 2,2 разу (p < 0,01), а ЛПВЩ знизились щодо контролю на 75,74 % (p < 0,01) (рис. 1).

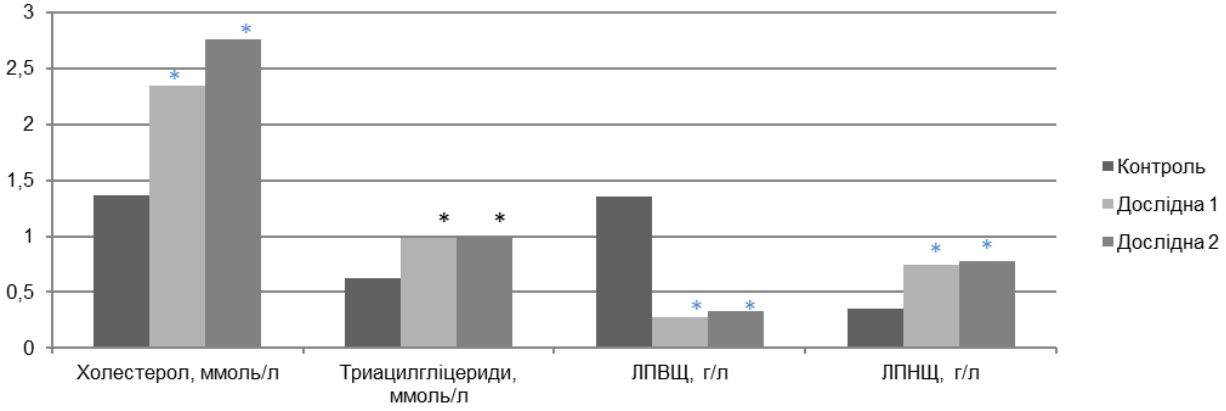


Рис. 1. Деякі показники ліпідного об'єму в сироватці крові щурів з інсулінорезистентністю та з інсулінорезистентністю у поєднанні з йододефіцитом (M ± m)

Примітка: *p < 0,05, *p < 0,01 – щодо даних у інтактних тварин.

У тварин першої дослідної групи, які отримували високовуглеводну дієту, встановили зниження вмісту Т3 на 21,45 % (p < 0,05) та Т4 – на 13,79 % (p < 0,05) порівняно з показниками в інтактних тварин. Концентрація ТТГ зросла на 25,37 %. Індекси в Т3/Т4, ТТГ/Т4 достовірно не відрізнялись від значень у контрольній групі щурів, проте зберігалась тенденція до їхнього зниження. У тварин другої дослідної групи, які отримували високовуглеводну дієту на тлі йододефіциту, виявили більш істотні зміни тиреоїдного статусу, зокрема зменшення вмісту Т3 на 68,57 % (p < 0,001), Т4 – на 55,17 % (p < 0,001). Уміст ТТГ зріс на 29,1 % (p < 0,01) порівняно з даними показниками інтактних тварин. Такі зміни показників гіпофізарно-тиреоїдної осі супроводжувались зниженням індексу периферичної інверсії (Т3/Т4) – на 29,17 % (p < 0,05) та збільшенням ТТГ/Т4 – у 2,6 разу (p < 0,05) стосовно даних у контрольній групі.

Дискусія і висновки

Щодо мінеральних елементів, найбільш істотні відмінності між контролем і дослідними групами характерні для магнію та цинку. Різниця є більш суттєвою між показниками другої дослідної групи і контролем. З літературних джерел відомо, що взаємозв'язок між інсуліном і магнієм є складним. Інсулін регулює гомеостаз магнію, але, у свою чергу, магній є важливим фактором, що впливає на метаболізм інсуліну та глюкози. Внутрішньоклітинний магній відіграє ключову роль у регуляції дії інсуліну, опосередкованого інсуліном поглинання глюкози й тонусу судин. Зниження внутрішньоклітинної концентрації магнію призводить до порушення активності тирозинкінази, пострецепторного порушення дії інсуліну та погіршення резистентності до інсуліну у хворих на діабет. Дефіцит магнію був запропонований як можливий загальний механізм "інсулінорезистентності" різних метаболічних станів. Зростає кількість доказів, які свідчать про клінічний вплив зміни концентрації магнію при інсулінорезистентності. У свою чергу, важливими регуляторами метаболізму магнію є інсулін і глюкоза. Інсулін впливає на транспорт іонів магнію із позаклітинного у внутрішньоклітинний простір, таким чином, змінює його концентрацію, хоча механізм цього впливу недостатньо відомий. Дослідження, проведені як на людях, так і на тваринах, показують, що індукований дієтою дефіцит магнію корелює з резистентністю до інсуліну (Dubey, Thakur, & Chattopadhyay, 2020).

Дефіцит цинку призводить до порушення синтезу та секреції нормальної фізіологічної молекули інсуліну. Цинк відіграє ключову роль у синтезі та дії на інсулін як фізіологічно, так і при інсулінорезистентності. Гіперглікемія зумовлює зниження рівня цинку в організмі. Ці втрати можуть погіршити перебіг діабету, але, імовірно, не є його причиною. Ускладнення інсулінорезистентності можуть бути опосередковані, принаймні частково, оксидативним стресом, а цинк відіграє ключову роль у клітинному антиоксидантному захисті. Якщо цинку недостатньо, оксидативний стрес може незворотно пошкодити клітину, спричиняючи або посилюючи деякі класичні ускладнення інсулінорезистентності. Мідь посилює гіпоглікемічний ефект інсуліну, прискорює процеси окиснення глюкози, гальмує розпад глікогену та сприяє його накопиченню у печінці. Результати досліджень указують на те, що тварини з інсулінорезистентністю та інсулінорезистентністю у поєднанні з йододефіцитом характеризуються підвищеним умістом міді в еритроцитарній масі порівняно з контрольною групою. Однак результати досліджень не є однозначними (Dubey, Thakur, & Chattopadhyay, 2020).

Збільшення вмісту ЛПНЩ у сироватці крові щурів ймовірно пов'язане зі збільшенням умісту ТАГ. Збільшення вмісту ТАГ у крові щурів призводить не тільки до збільшення вмісту ЛПНЩ, а й до зниження вмісту ЛПВЩ. Отримані результати вказують на розвиток порушень метаболізму гепатоцитів (Гложик, 2020).

Гіпотиреоз посилює резистентність клітин до інсуліну, що пов'язано з порушенням засвоєння глюкози в периферичних тканинах. При гіпотиреозі спостерігається зниження глікогенолізу в м'язах і печінці, глюконеогенезу в печінці, а також зменшення базальної секреції інсуліну та всмоктування глюкози в кишківнику. Гіпотиреоз зумовлює зниження інтенсивності основного обміну, у тому числі ліпідного (Aslan Cin, 2020). Відомо, що гормони щитоподібної залози впливають на жиро-

вий обмін і зменшують уміст ліпідів у печінці. Тиреоїдні гормони безпосередньо впливають на вихід жиру із жирової тканини, тому кількість резервного жиру зменшується через використання його як енергетичного матеріалу. Значення гормонів щитоподібної залози у ліпідному обміні підтверджується також зменшенням умісту ліпідів у тканинах, посиленням дегідрогенізації жирних кислот при введенні тироксину. За умови недостатнього вмісту в організмі тиреоїдних гормонів розвивається вторинна дисліпідемія, підвищується рівень загального холестерину, ліпопротеїнів низької щільності та знижується вміст ліпопротеїнів високої щільності (Vega-Cárdenas et al., 2022).

Інсулінорезистентність, у свою чергу, може зумовлювати обтяжений перебіг гіпотиреозу. З літературних джерел відомо, що при інсулінорезистентності спостерігається зниження секреції ТТГ і порушення секреції гормону на стимуляцію тиреоліберином, інгібування активності D1, що супроводжується зниженням конверсії Т4 в Т3, зменшенням рівня Т3 у сироватці крові, що може бути зумовлено захисним механізмом організму у відповідь на посилення катаболізму тканин.

Отже, тиреоїдні гормони беруть участь у механізмах регуляції чутливості клітин до інсуліну, секреції інсуліну та глюкози. Дисфункція щитоподібної залози частіше зустрічається у хворих на цукровий діабет, що негативно впливає на метаболічний контроль цукрового діабету. Такі пацієнти мають підлягати під окремі діагностичні та терапевтичні стандарти (Стецев'ят, & Воронич-Семченко, 2019; Bao et al., 2023).

Аналіз літературних джерел відображає ряд актуальних питань, які потребують розширення даних. Серед них – взаємозв'язок інсулінорезистентності та гіпотиреозу, дослідження впливу фруктозної дієти на тиреоїдний гомеостаз і вуглеводний баланс та визначення ризику розвитку інсулінорезистентності за даних умов. Зважаючи на високу ймовірність структурних порушень печінки та її важливу роль у підтриманні вуглеводного гомеостазу, метаболізмі тиреоїдних гормонів, доцільним є поглиблене вивчення структурно-функціональних особливостей гепатоцитів за умов поєднання гіпотиреозу та інсулінорезистентності.

Список використаних джерел

Гложик, І. (2020). Вміст мінеральних елементів та стан системи антиоксидантного захисту та процесів вільнорадикального окиснення ліпідів у гепатоцитах щурів на тлі набутої інсулінорезистентності, йододефіциту та інсулінорезистентності у поєднанні з йододефіцитом. У І. Гложик (Ред.), *Міждисциплінарні наукові дослідження: особливості та тенденції* (с. 48–51). МЦНД.

Влізло, В. В. (Ред.). (2012). *Лабораторні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині* (с. 305–306). СПОЛОМ.

Воронич-Семченко, Н. М., & Гуранич, Т.В. (2014). Зміни процесів вільнорадикального окиснення ліпідів і білків, антиоксидантного захисту у щурів із гіпофункцією щитоподібної залози на тлі дефіциту йоду та міді. *Фізіологічний журнал,* 60(4), 30.

Соколова, Л. К., Болгарська, С. В., & Островерхова, Г. В. (2017). Комбінована терапія пацієнтів із цукровим діабетом 2-го типу: міжнародні рекомендації і власний досвід. *Ендокринологія,* 22(3), 211–218.

Стецев'ят, В. Б., & Воронич-Семченко, Н. М. (2019). Вплив інсулінорезистентності на тиреоїдний гомеостаз тварин за умов вродженого та набутого йододефіциту. *Art of medicine,* 4(12), 119–123. https://doi.org/10.21802/artm.4.12.119

Aslan Çin, N. N., Yardımcı, H., Koç, N., Uçaktürk, S. A., & Akçil Ok, M. (2020). Triglycerides/high-density lipoprotein cholesterol is a predictor similar to the triglyceride-glucose index for the diagnosis of metabolic syndrome using International Diabetes Federation criteria of insulin resistance in obese adolescents: A cross-sectional study. *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism,* 33(6), 777–784. https://doi.org/10.1515/jpem-2019-0310

Badran, M., Morsy, R., Soliman, H., & Elnimr, T. (2015). Assessment of trace elements levels in patients with type 2 diabetes using multivariate statistical analysis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,* 33, 114–119. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.10.006

Bao, S., Li, F., Duan, L., Li, J., & Jiang, X. (2023). Thyroid-stimulating hormone may participate in insulin resistance by activating toll-like receptor 4 in liver tissues of subclinical hypothyroid rats. *Molecular Biology Reports,* 50(12), 10637–10650. https://doi.org/10.1007/s11033-023-08834-2

Clegg, D. J., Gotoh, K., Kemp, C., Wortman, M. D., Benoit, S. C., Brown, L. M., D'Alessio, D., Tso, P., Seeley, R. J., & Woods, S. C. (2011). Consumption of a high-fat diet induces central insulin resistance independent of adiposity. *Physiology & Behavior*, 103(1), 10–16. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.01.010

Dimitriadis, G., Mitrou, P., Lambadiari, V., Maratou, E., & Raptis, S. A. (2011). Insulin effects in muscle and adipose tissue. *Diabetes Research and Clinical Practice,* 93(Suppl. 1), S52-S59.

Dubey, P., Thakur, V., & Chattopadhyay, M. (2020). Role of minerals and trace elements in diabetes and insulin resistance. *Nutrients,* 12(6), Article 1864. https://doi.org/10.3390/nu12061864

Kleinridders, A., Ferris, H. A., Cai, W., & Kahn, C. R. (2014). Insulin action in brain regulates systemic metabolism and brain function. *Diabetes,* 63(7), 2232–2243. https://doi.org/10.2337/db14-0568

Kolka, C. M., & Bergman, R. N. (2013). The endothelium in diabetes: Its role in insulin access and diabetic complications. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders,* 14(1), 13–19.

Martinez-Galan, J. R. (1997). Early effect of iodine deficiency on radial glial cells of the hippocampus of the rat fetus. *Journal of Clinical Investigation,* 99, 2701–2709.

Nolan, P. B., Carrick-Ranson, G., Stinear, J. W., Reading, S. A., & Dalleck, L. C. (2017). Prevalence of metabolic syndrome and metabolic syndrome components in young adults: A pooled analysis. *Preventive Medicine Reports,* 7, 211–215. https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2017.07.004

Nordberg, M., & Nordberg, G. F. (2016). Trace element research-historical and future aspects. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,* 38, 46–52. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.04.006

Onyango, A. N. (2018). Cellular stresses and stress responses in the pathogenesis of insulin resistance. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity,* Article 4321714. https://doi.org/10.1155/2018/4321714

Siddle, K. (2011). Signalling by insulin and IGF receptors: Supporting acts and new players. *Journal of Molecular Endocrinology,* 47(1), R1-R10.

Sujatha, P. (2013). Trace elements in diabetes mellitus. *Journal of Clinical and Diagnostic Research,* 7, 1863-1865.

Sun, W., Yang, J., Wang, W., Hou, J., Cheng, Y., Fu, Y., Xu, Z., & Cai, L. (2017). The beneficial effects of Zn on Akt-mediated insulin and cell survival signaling pathways in diabetes. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,* 46, 117–127. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.12.005

Tahapary, D. L., Pratisthita, L. B., Fitri, N. A., Marcella, C., Wafa, S., Kurniawan, F., Rizka, A., Tarigan, T. J. E., Harbuwono, D. S., Purnamasari, D., & Soewondo, P. (2022). Challenges in the diagnosis of insulin resistance: Focusing on the role of HOMA-IR and triglyceride/glucose index, *Diabetes & Metabolic Syndrome,* 16(8), Article 102581. https://doi.org/10.1016/j.dsx.2022.102581

Uluisik, I., Karakaya, H. Ç., & Koc, A. (2018). The importance of boron in biological systems. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,* 45, 156–162. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.10.008

Vega-Cárdenas, M., Flores-Sánchez, J., Torres-Rodriguez, M. L., Sánchez-Armáss, O., Vargas-Morales, J. M., Cossío-Torres, P. E., Terán-García, M., & Aradillas-García, C. (2022). Distribución del índice triglicéridos y glucosa (TyG) y el modelo homeostático para la evaluación de la resistencia a la insulina en la adolescencia tardía en mexicanos [Distribution of triglycerides and glucose (TyG) index and homeostasis model assessment insulin resistance for the evaluation of insulin sensitivity on late adolescence in Mexicans]. *Nutrición Hospitalaria,* 39(6), 1349–1356. https://doi.org/10.20960/nh.04120

Wolide, A. D., Zawdie, B., Alemayehu, T., & Tadesse, S. (2017). Association of trace metal elements with lipid profiles in type 2 diabetes mellitus patients: A cross sectional study. *BMC Endocrine Disorders,* 17, Article 64. https://doi.org/10.1186/s12902-017-0217-z

Zhang, Q., Sun, X., Xiao, X., Zheng, J., Li, M., Yu, M., Ping, F., Wang, Z., Qi, C., & Wang, T. (2017). Dietary chromium restriction of pregnant mice changes the methylation status of hepatic genes involved with insulin signaling in adult male offspring. *PLoS ONE,* 12, e0169889. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169889

Reeferences

Aslan Çin, N. N., Yardımcı, H., Koç, N., Uçaktürk, S. A., & Akçil Ok, M. (2020). Triglycerides/high-density lipoprotein cholesterol is a predictor similar to the triglyceride-glucose index for the diagnosis of metabolic syndrome using International Diabetes Federation criteria of insulin resistance in obese adolescents: A cross-sectional study. *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism*, 33(6), 777–784. https://doi.org/10.1515/jpem-2019-0310

Badran, M., Morsy, R., Soliman, H., & Elnimr, T. (2015). Assessment of trace elements levels in patients with type 2 diabetes using multivariate statistical analysis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,* 33, 114–119. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.10.006

Bao, S., Li, F., Duan, L., Li, J., & Jiang, X. (2023). Thyroid-stimulating hormone may participate in insulin resistance by activating toll-like receptor 4

in liver tissues of subclinical hypothyroid rats. *Molecular Biology Reports*, 50(12), 10637–10650. https://doi.org/10.1007/s11033-023-08834-2

Clegg, D. J., Gotoh, K., Kemp, C., Wortman, M. D., Benoit, S. C., Brown, L. M., D'Alessio, D., Tso, P., Seeley, R. J., & Woods, S. C. (2011). Consumption of a high-fat diet induces central insulin resistance independent of adiposity. *Physiology & Behavior*, 103(1), 10–16. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.01.010

Dimitriadis, G., Mitrou, P., Lambadiari, V., Maratou, E., & Raptis, S. A. (2011). Insulin effects in muscle and adipose tissue. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 93(Suppl. 1), S52-S59.

Dubey, P., Thakur, V., & Chattopadhyay, M. (2020). Role of minerals and trace elements in diabetes and insulin resistance. *Nutrients*, 12(6), Article 1864. https://doi.org/10.3390/nu12061864

Glozhyk I. (2020). The content of mineral elements and the state of the antioxidant defense system and free radical lipid oxidation processes in rat hepatocytes against the background of acquired insulin resistance, iodine deficiency and insulin resistance in combination with iodine deficiency. In I. Glozhyk (Ed.), *Interdisciplinary Scientific Research: Features and Trends* (pp. 48–51). International Research Center [in Ukrainian].

Kleinridders, A., Ferris, H. A., Cai, W., & Kahn, C. R. (2014). Insulin action in brain regulates systemic metabolism and brain function. *Diabetes*, 63(7), 2232–2243. https://doi.org/10.2337/db14-0568

Kolka, C. M., & Bergman, R. N. (2013). The endothelium in diabetes: Its role in insulin access and diabetic complications. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*, 14(1), 13–19.

Martinez-Galan, J. R. (1997). Early effect of iodine deficiency on radial glial cells of the hippocampus of the rat fetus. *Journal of Clinical Investigation*, 99, 2701–2709.

Nolan, P. B., Carrick-Ranson, G., Stinear, J. W., Reading, S. A., & Dalleck, L. C. (2017). Prevalence of metabolic syndrome and metabolic syndrome components in young adults: A pooled analysis. *Preventive Medicine Reports*, 7, 211–215. https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2017.07.004

Nordberg, M., & Nordberg, G. F. (2016). Trace element research-historical and future aspects. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 38, 46–52. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.04.006

Onyango, A. N. (2018). Cellular stresses and stress responses in the pathogenesis of insulin resistance. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, Article 4321714. https://doi.org/10.1155/2018/4321714

Siddle, K. (2011). Signalling by insulin and IGF receptors: Supporting acts and new players. *Journal of Molecular Endocrinology*, 47(1), R1-R10.

Sokolova, L. K., Bolgarska, S. V., & Ostroverkhova, G. V. (2017). Combination therapy of patients with type 2 diabetes mellitus: International recommendations and personal experience. *Endocrinology,* 22(3), 211–218 [in Ukrainian].

Stetsevyat, V. B., & Voronych-Semchenko, N. M. (2019). The effect of insulin resistance on thyroid homeostasis of animals under conditions of congenital and acquired iodine deficiency. *Art of Medicine,* 4(12), 119–123 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.21802/artm.4.12.119

Sujatha, P. (2013). Trace elements in diabetes mellitus. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 7, 1863–1865.

Sun, W., Yang, J., Wang, W., Hou, J., Cheng, Y., Fu, Y., Xu, Z., & Cai, L. (2017). The beneficial effects of Zn on Akt-mediated insulin and cell survival signaling pathways in diabetes. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,* 46, 117–127. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.12.005

Tahapary, D. L., Pratisthita, L. B., Fitri, N. A., Marcella, C., Wafa, S., Kurniawan, F., Rizka, A., Tarigan, T. J. E., Harbuwono, D. S., Purnamasari, D., & Soewondo, P. (2022). Challenges in the diagnosis of insulin resistance: Focusing on the role of HOMA-IR and triglyceride/glucose index. *Diabetes & Metabolic Syndrome*, 16(8), Article 102581. https://doi.org/10.1016/j.dsx.2022.102581

Uluisik, I., Karakaya, H. Ç., & Koc, A. (2018). The importance of boron in biological systems. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,* 45, 156–162. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.10.008

Vega-Cárdenas, M., Flores-Sánchez, J., Torres-Rodriguez, M. L., Sánchez-Armáss, O., Vargas-Morales, J. M., Cossío-Torres, P. E., Terán-García, M., & Aradillas-García, C. (2022). Distribución del índice triglicéridos y glucosa (TyG) y el modelo homeostático para la evaluación de la resistencia a la insulina en la adolescencia tardía en mexicanos. *Nutrición Hospitalaria*, 39(6), 1349–1356. https://doi.org/10.20960/nh.04120

Vlizlo, V. V. (Ed.) (2012). *Laboratory methods of research in biology, livestock and veterinary medicine* (pp. 305–306). Spolom [in Ukrainian].

Voronych-Semchenko, N. M., & Guranych, T. V. (2014). Changes in the processes of free radical oxidation of lipids and proteins, antioxidant protection in rats with hypothyroidism on the background of iodine and copper deficiency. *Physiological Journal,* 60(4), 30 [in Ukrainian].

Wolide, A. D., Zawdie, B., Alemayehu, T., & Tadesse, S. (2017). Association of trace metal elements with lipid profiles in type 2 diabetes mellitus patients: A cross sectional study. *BMC Endocrine Disorders,* 17, Article 64. https://doi.org/10.1186/s12902-017-0217-z

Zhang, Q., Sun, X., Xiao, X., Zheng, J., Li, M., Yu, M., Ping, F., Wang, Z., Qi, C., & Wang, T. (2017). Dietary chromium restriction of pregnant mice changes the methylation status of hepatic genes involved with insulin signaling in adult male offspring. *PLoS ONE*, 12, e0169889. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169889

Отримано редакцією журналу / Received: 29.03.25
Прорецензовано / Revised: 29.04.25
Схвалено до друку / Accepted: 29.05.25

Iryna GLOZHYK, PhD (Biol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0002-5467-9229
e-mail: glozyk.ira@gmail.com
Lviv State University of Physical Culture named after Ivan Bobersky, Lviv, Ukraine

INFLUENCE OF INSULIN RESISTANCE AND INSULIN RESISTANCE IN COMBINATION WITH IODINE DEFICIENCY ON THYROID HOMEOSTASIS AND THE RELATIONSHIP BETWEEN LIPID SPECTRUM INDICATORS AND THE CONTENT OF ESSENTIAL BIOELEMENTS IN THE BLOOD OF RATS

Background. ***Insulin resistance is the inability of exogenous or endogenous insulin to control glucose levels, impaired biological response to insulin action in target tissues, especially in the liver, muscle, and adipose tissue (Tahapary DL, et all, 2022). Iodine deficiency states are one of the many factors in the development of insulin resistance, while the pathogenesis of hypothyroidism is based on the development of insulin resistance, and some endocrine diseases have IR as a clinical manifestation (Dubey P, 2020). Due to the contradictory results, there is an increasing need for studies on the relationship between insulin resistance and metabolic features of the body (Dubey P, 2020).***

Methods. ***The study was conducted on 45 white non-linear rats weighing 120–180 g, divided into three groups: intact animals (control group, n = 15), animals with insulin resistance (1st experimental group, n = 15), animals with insulin resistance combined with iodine deficiency (2nd experimental group). The lipid spectrum of blood serum was assessed by the content of total cholesterol (C), high-density lipoproteins (HDL), low-density lipoproteins (LDL), triacylglycerides (TAG) and the atherogenic coefficient (CA) was calculated [8]. The content of Zinc, Magnesium, Copper and Iron was determined in the erythrocyte mass of rats. To assess the thyroid status of animals, the content of free triiodothyronine (T3) and thyroxine (T4), thyroid-stimulating hormone (TSH) in blood serum was determined, followed by calculation of the T3/T4 and TSH/T4 indices.***

Results. ***In the animals of the experimental groups, an increase in the content of total cholesterol, triacylglycerols, a decrease in the content of HDL and an increase in LDL were found. As for mineral elements, a decrease in the content of Magnesium, Zinc and Iron was found in the erythrocyte mass of the animals of the experimental groups. The largest differences between the experimental groups and the control concern the content of Magnesium and Zinc. The content of Copper in the erythrocyte mass of the animals of the experimental groups is slightly higher compared to the control. In the animals of the experimental groups, a decrease in the level of T3 and T4 and an increase in the content of TSH were found. In the animals of the second experimental group, which received a high-carbohydrate diet against the background of iodine deficiency, more significant changes in thyroid status were found compared to the control.***

Conclusions. ***Some issues require in-depth study, in particular, the common metabolic basis of insulin resistance and hypothyroidism, as well as the study of the structural and functional features of hepatocytes under the conditions of a combination of hypothyroidism and insulin resistance.***

Keywords: ***thyroid hormones, insulin, mineral elements.***

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.

УДК 577.1:616.831
DOI: https://doi.org/10.17721/1728.2748.2025.101.34-38

Тетяна ГАЛЕНОВА, канд. біол. наук, ст. дослідник
ORCID ID: 0000-0003-2973-2646
e-mail: galenovatanya@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Наталія РАКША, д-р біол. наук, ст. дослідник
ORCID ID: 0000-0001-6654-771X
e-mail: nkudina@knu.ua
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

РІВЕНЬ МАТРИЧНИХ МЕТАЛОПРОТЕЇНАЗ У ПАЦІЄНТІВ З ІШЕМІЧНИМ ІНСУЛЬТОМ РІЗНОЇ ЕТІОЛОГІЇ

Вступ. ***Ішемічний інсульт є провідною причиною смерті та інвалідності у світі. Особливо актуальною є проблема диференційної діагностики його підтипів, зокрема кардіоемболічного (KEI) та атеротромботичного (ATI) інсультів, що істотно відрізняються за патогенезом, клінічною картиною та прогнозом. Установлення біомаркерів, здатних відображати тяжкість стану пацієнта або потенційно служити діагностичними орієнтирами, залишається науковим викликом. Метою цього дослідження було оцінити рівні матричних металопротеїназ (ММП), зокрема ММП-2, ММП-9, а також інтерлейкіну-6 (ІЛ-6) та фактору некрозу пухлин-α (ФНП-α) у пацієнтів із KEI та ATI для виявлення їхнього потенціалу як диференційно-діагностичних і прогностичних показників.***

Методи. ***У дослідження були включені 122 пацієнти з ішемічним інсультом, госпіталізовані до неврологічного відділення Київської міської клінічної лікарні № 4 у період із 2016 до 2020 рр. На основі результатів комплексного клінічного обстеження, нейровізуалізації та збору повного анамнезу, пацієнтів було розподілено на дві групи: з атеротромботичним (ATI, n = 66) і кардіоемболічним (KEI, n = 56) підтипами інсульту. Контрольну групу становили 35 здорових осіб. Рівні біомаркерів визначали у плазмі крові методом імуноферментного аналізу.***

Результати. ***У пацієнтів обох дослідних груп установлено достовірне підвищення рівнів ММП-2, ММП-9, ІЛ-6 та ФНП-α порівняно з контролем (p < 0,05). Медіанні значення всіх чотирьох маркерів були вищими у групі KEI, однак міжгрупові відмінності між KEI та ATI не досягли статистичної значущості. Отримані дані дозволяють припустити зв'язок цих показників із тяжкістю ішемічного ураження, однак відсутність специфічності щодо підтипу ішемії обмежує їхню диференційно-діагностичну цінність.***

Висновки. ***Матричні металопротеїнази, зокрема ММП-2 та ММП-9, а також цитокіни ІЛ-6 і ФНП-α демонструють потенціал як біомаркери тяжкості ішемічного інсульту. Їхній рівень значно перерostає у гостру фазу, проте вони не дозволяють достовірно диференціювати між атеротромботичним і кардіоемболічним підтипами. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оцінку динамічних змін цих показників у поєднанні з іншими клініко-лабораторними індикаторами для покращення персоналізованого підходу до ведення пацієнтів з інсультом.***

Ключові слова: ***ішемічний інсульт, матричні металопротеїнази, прозапальні цитокіни, біомаркери плазми крові.***

Вступ

Ішемічний інсульт залишається однією із головних причин смертності та інвалідності в усьому світі. Згідно з даними дослідження Global Burden of Disease Study 2019, у 2019 р. було зареєстровано приблизно 12,2 млн нових випадків інсульту, що призвело до 6,55 млн смертей (GBD 2019 Stroke Collaborators, 2021). Особливо гостро ця проблема постає в Україні, де у 2023 р. кількість випадків інсульту зросла на 16 % порівняно з попереднім роком (Prokopiv et al., 2024). Це зростання частково пов'язане із впливом воєнного стресу та обмеженим доступом до медичної допомоги. Крім того, 2023 р. спостерігалося різке збільшення частки повторних інсультів, які становили 75 % від загальної кількості випадків.

Серед усіх випадків інсульту близько 87 % мають ішемічну етіологію, а найпоширенішими серед них є кардіоемболічний (KEI) та атеротромботичний (ATI) підтипи (Tsao et al., 2023). Хоча обидва належать до ішемічного типу, ці підтипи суттєво відрізняються за механізмами розвитку, клінічними проявами та перебігом (Griñán et al., 2021), що ускладнює ранню діагностику та вибір оптимальної терапевтичної стратегії. Незважаючи на прогрес у нейровізуалізації та терапії, залишається актуальним питання пошуку чутливих біомаркерів, які дозволяють не лише ранню диференціацію типів інсульту, але й прогнозування наслідків захворювання.

Матричні металопротеїнази (ММП), зокрема ММП-2 та ММП-9, мають ключове значення в патогенезі ішемічного інсульту, оскільки беруть участь у ремоделюванні позаклітинного матриксу, регуляції міжклітинних взаємодій і проникності судинної стінки. Після ішемічного ушкодження мозку відбувається активація запального каскаду, що стимулює підвищену експресію ММП, особливо в зоні ішемічної півтіні (Turner, & Sharp, 2016). Це супроводжується порушенням цілісності гематоенцефалічного бар'єру, розвитком вазогенного набряку та лейкоцитарною інфільтрацією (Lo, 2008; Lakhan, Kirchgessner, & Hofer, 2009; Turner, & Sharp, 2016).

Підвищення активності ММП-2 та ММП-9 у гострій фазі ішемічного інсульту асоціюється з більш вираженим неврологічним дефіцитом, збільшенням об'єму інфарктної зони та несприятливим клінічним прогнозом (Lakhan, Kirchgessner, & Hofer, 2009; Ramos-Fernandez, Bellolio, F., & Stead, 2011). Більше того, ММП-9 уважається ключовим маркером тяжкості ішемічного ураження, оскільки її активність спричиняє руйнування базальної мембрани мозкових капілярів, що полегшує проникнення прозапальних медіаторів у паренхіму та поглиблює нейрональне ушкодження (Castellanos et al., 2003). Крім того, ММП-9 бере участь у розвитку геморагічної трансформації інфаркту, особливо у пацієнтів, які отримують тромболітичну терапію (Candelario-Jalil, Yang, & Rosenberg, 2009; Castellanos et al., 2003; Ramos-Fernandez, Bellolio, & Stead, 2011).

Оскільки запальний каскад є ключовим ініціатором експресії металопротеїназ, важливою ланкою цього процесу виступають прозапальні цитокіни. Інтерлейкін-6 (ІЛ-6) і фактор некрозу пухлин альфа (ФНП-α) є основними медіа-

© Галенова Тетяна, Ракша Наталія, 2025

торами, що індукують синтез ММП на рівні транскрипції (Zhu et al., 2022; Pawluk et al., 2025). Відомо, що концентрації ІЛ-6 та ФНП-α підвищуються в сироватці пацієнтів у гострій фазі інсульту, а їхній рівень може корелювати з обсягом ішемічного ураження та клінічним перебігом (Smith et al., 2004; Ormstad et al., 2011; Li et al., 2019).

Попри наявність даних щодо ролі ММП і цитокінів у загальній патофізіології ішемічного інсульту, їхня динаміка та прогностичне значення залежно від підтипу ішемії, зокрема КЕІ та АТІ, досі досліджені недостатньо. Таким чином, метою цього дослідження було кількісне визначення рівнів ММП-2, ММП-9, ІЛ-6 і ФНП-α у плазмі крові пацієнтів із КЕІ та АТІ задля їхньої оцінки як потенційних диференційно-діагностичних та прогностичних маркерів.

Методи

У дослідження були включені 122 пацієнти (жінки та чоловіки, середній вік 73 ± 8 років), які проходили стаціонарне лікування у неврологічному відділенні Київської міської клінічної лікарні № 4 у період із 2016 до 2020 р. Кожному пацієнту було проведено клініко-неврологічне обстеження для оцінки тяжкості інсульту та виконано ретельний збір анамнезу. Залежно від етіології ішемії, пацієнтів було розподілено на дві основні клінічні групи: група з атеротромботичним інсультом (АТІ, n = 66) та група з кардіоемболічним інсультом (КЕІ, n = 56). Контрольна вибірка складалася із 35-ти здорових осіб, підібраних за віком і статтю, які не мали в анамнезі серцево-судинних чи тромботичних уражень. До критеріїв винятку належали: декомпенсована серцева недостатність, коагулопатії, злоякісні пухлини, виражена анемія (Hb < 80 г/л), гострі інфекції або сепсис, тяжкі ураження печінки, а також знижена швидкість клубочкової фільтрації (< 30 мл/хв/1,73 м²). Протокол дослідження отримав схвалення етичних комітетів КМКЛ № 4 та Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Усі пацієнти або їхні законні представники надали письмову інформовану згоду згідно з вимогами Гельсінської декларації.

Забір крові здійснювали з ліктьової вени в день госпіталізації, до початку специфічної терапії. Як антикоагулянт використовували 3,8 % розчин цитрату натрію (співвідношення 1 : 9). Центрифугування проводили при 2500 об./хв протягом 30 хв для відокремлення формених елементів. Плазму відбирали у стерильні пробірки. Зразки зберігали у замороженому вигляді при –20 °C до моменту використання. Перед аналізом плазму розморожували у водяній бані за температури +37 °C протягом 20 хв для стабілізації білкової активності.

Визначення рівнів ММП-2, ММП-9, ІЛ-6 та ФНП-α у плазмі здійснювали методом імуноферментного аналізу. Аналіз виконували у непрямому форматі з використанням специфічних моноклональних антитіл проти цільових білків – ММП-2, ММП-9, ІЛ-6 та ФНП-α (Santa Cruz Biotechnology, США), відповідних вторинних антитіл, кон'югованих із пероксидазою хрону (Sigma-Aldrich, США), а також хромогенного субстрату *о*-фенілендіаміну. Оптичну щільність зразків вимірювали на мікропланшетному спектрофотометрі μQuant™ (BioTek Instruments, США) при довжині хвилі 492 нм. Результати подано у відносних одиницях оптичної щільності у перерахунку на 1 мг білка (ум. од./мг).

Статистичну обробку даних проводили із застосуванням програмного забезпечення GraphPad Prism, версія 9.5.1 (GraphPad Software Inc., США). Перевірку розподілу кількісних змінних здійснювали за допомогою критерію Шапіро-Уїлка. Залежно від характеру розподілу, результати наводили у вигляді середнього значення ± стандартного відхилення (M ± SD) для параметричних даних або медіани та міжквартильного інтервалу (Me [Q1–Q3]) для непараметричних. Для порівняння трьох незалежних груп використовували: критерій однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) з поправкою Бонферроні для множинних порівнянь – для параметричних змінних; критерій Краскела-Уолліса з подальшим тестом Данна – для непараметричних змінних. Усі відмінності вважали статистично значущими при $p < 0,05$.

Результати

Пацієнти з атеротромботичним (АТІ) і кардіоемболічним (КЕІ) ішемічним інсультом, включені до дослідження, не відрізнялися між собою за більшістю клініко-анамнестичних характеристик. Середній вік учасників становив 73 ± 5 років у групі АТІ та 74 ± 6 років – у групі КЕІ. Частка чоловіків була приблизно однаковою – 50 % у групі АТІ та 48 % – у групі КЕІ. Частота супутньої артеріальної гіпертензії в обох групах виявилася високою, але порівняною – 69 % серед пацієнтів із АТІ і 67 % – із КЕІ. Ішемічна хвороба серця була наявна у 31 % пацієнтів групи АТІ та 30 % – у групі КЕІ.

Водночас було встановлено достовірну різницю за частотою гіперліпідемії: вона спостерігалась у 52 % пацієнтів із атеротромботичним інсультом і лише у 33 % хворих – із кардіоемболічним ($p < 0,001$). Цей факт може свідчити про суттєву роль метаболічного профілю, зокрема порушень ліпідного обміну, у формуванні атеротромботичного механізму мозкового інфаркту. Крім того, на момент госпіталізації неврологічний дефіцит, оцінений за шкалою NIHSS, був більш вираженим у пацієнтів із КЕІ (середнє значення становило 12 ± 1), ніж у пацієнтів із АТІ (9 ± 1), що також було статистично значущим ($p = 0,048$). Це, імовірно, відображає більш гострий початок клінічних проявів при кардіоемболічному інсульті та більший об'єм ураження мозкової тканини.

Матриксні металопротеїнази (ММП), зокрема ММП-2 та ММП-9, є ключовими медіаторами деструкції позаклітинного матриксу, порушення цілісності гематоенцефалічного бар'єру та нейрозапалення після ішемічного інсульту. Рівень їх експресії значно зростає внаслідок гіпоксично-запального каскаду, і це підвищення тісно пов'язане із тяжкістю ішемічного ураження, обсягом інфаркту та ризиком геморагічної трансформації (Castellanos et al., 2003; Ramos-Fernandez et al., 2011).

У представленому дослідженні встановлено, що рівень ММП-2 (рис. 1, А) та ММП-9 (рис. 1, Б) у плазмі крові пацієнтів з ішемічним інсультом значно вищий, ніж у здорових осіб. При цьому найвищі показники обох металопротеїназ спостерігалися у пацієнтів з кардіоемболічним інсультом, хоча різниця між групами КЕІ та АТІ була статистично незначущою. Порівняно з контрольною групою, рівень ММП-2 був вірогідно підвищеним як у групі АТІ ($p = 0,04$), так і КЕІ ($p = 0,01$), що узгоджується із сучасними дослідженнями, які вказують на універсальну активацію ММП при ішемічному ураженні мозку незалежно від етіології (Clark et al., 1997; Magnoni et al., 2004). Подібна тенденція виявлена і для ММП-9 ($p < 0,05$). Ці результати підтверджують значущість ММП як потенційних маркерів тяжкості ішемії, що узгоджується з попередніми даними (Candelario-Jalil, Yang, & Rosenberg, 2009) та підкреслює їхню перспективність як мішеней для нейропротекції та прогнозування клінічного перебігу інсульту. Водночас отримані показники не демонструють специфічності для диференціації між атеротромботичним і кардіоемболічним підтипами ішемічного інсульту, що обмежує їхнє діагностичне застосування.

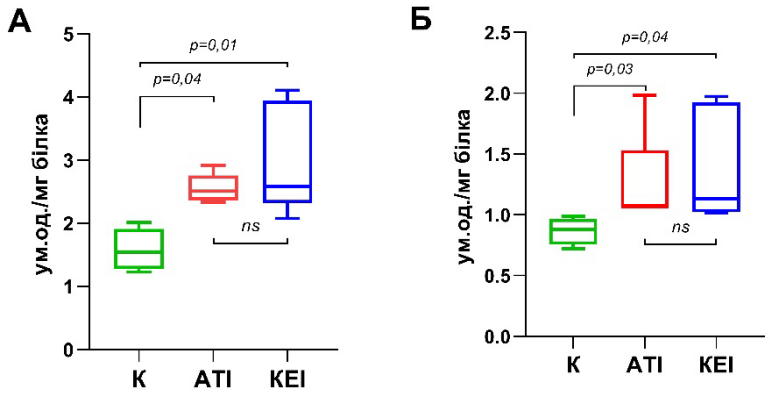


Рис. 1. Рівень ММП-2 (А) та ММП-9 (Б) у плазмі крові здорових осіб (К, n = 35) та пацієнтів із атеротромботичним (ATI, n = 66) або кардіоемболічним (KEI, n = 56) ішемічним інсультом

Примітка: дані подано у вигляді діаграми розмаху: межі ящика відображають міжквартильний інтервал (Q1-Q3), горизонтальна лінія всередині ящика – медіану, "вуса" – фактичний діапазон даних; статистично значущими вважали різниці при $p < 0,05$.

Запальна відповідь відіграє ключову роль у патогенезі ішемічного інсульту. Як було встановлено раніше, матричні металопротеїнази, зокрема ММП-2 та ММП-9, активуються внаслідок гіпоксично-запального ушкодження. Одним із основних тригерів їхньої експресії є прозапальні цитокіни – інтерлейкін-6 (ІЛ-6) і фактор некрозу пухлин альфа (ФНП-α), які запускають транскрипцію генів ММП через активацію факторів транскрипції, зокрема NF-κB (Zhu et al., 2022; Pawluk et al., 2025). Отже, оцінка концентрації цих цитокінів має як діагностичне, так і патофізіологічне значення.

На рис. 2 наведено дані щодо вмісту ІЛ-6 і ФНП-α у плазмі пацієнтів з ішемічним інсультом різного підтипу та здорових осіб. Як видно з отриманих результатів, рівні обох цитокінів були значно вищими у групах пацієнтів порівняно з контролем ($p = 0,03$ для ATI; $p = 0,04$ для KEI). Хоча медіанний рівень ІЛ-6 у пацієнтів із кардіоемболічним інсультом був вищим порівняно із групою атеротромботичного підтипу, виявлена різниця не досягла межі статистичної значущості. Показники ФНП-α також виявились достовірно підвищеними у плазмі пацієнтів з ішемічним інсультом порівняно з контрольною групою ($p = 0,04$ для ATI; $p = 0,02$ для KEI). Водночас, статистично значущої різниці між підтипами ішемії за рівнем цього цитокіну не встановлено, що свідчить про його неспецифічність стосовно етіологічної форми інсульту. Отримані результати узгоджуються з даними попередніх досліджень, які показали підвищення рівнів ІЛ-6 і ФНП-α у гостру фазу інсульту та асоціацію з обсягом інфаркту і клінічним прогнозом (Smith et al., 2004; Ormstad et al., 2011; Li et al., 2019). Незважаючи на високу чутливість, ці цитокіни не продемонстрували специфічності щодо підтипу інсульту, що обмежує їх використання для диференційної діагностики, хоча вони залишаються перспективними у контексті прогнозування тяжкості перебігу й терапевтичного моніторингу.

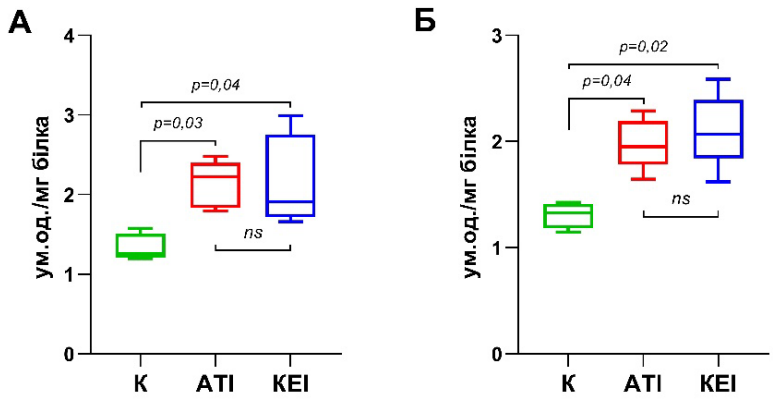


Рис. 2. Рівень інтерлейкіну-6 (А) та фактора некрозу пухлин-α (Б) у плазмі крові здорових осіб (К, n = 35) та пацієнтів із атеротромботичним (ATI, n = 66) або кардіоемболічним (KEI, n = 56) ішемічним інсультом.

Примітка: дані представлені у вигляді діаграми розмаху: межі ящика відображають міжквартильний інтервал (Q1-Q3), горизонтальна лінія всередині ящика – медіану, "вуса" – фактичний діапазон даних; статистично значущими вважали різниці при $p < 0,05$.

Дискусія і висновки

Результати нашого дослідження підтверджують, що системні рівні металопротеїназ – ММП-2 та ММП-9, а також прозапальних цитокінів – ІЛ-6 і ФНП-α, значно підвищуються в гостру фазу ішемічного інсульту незалежно від його етіологічного підтипу. Це узгоджується з

попередніми дослідженнями, які демонстрували роль ММП-9 у деструкції гематоенцефалічного бар'єра, вазогенному набряку та прогресуванні інфарктного ураження мозку (Castellanos et al., 2003; Ramos-Fernandez, Bellolio, & Stead, 2011).

Цікаво, що попри більш виражені медіанні значення у групі пацієнтів з кардіоемболічним інсультом, міжгрупові відмінності виявилися статистично незначущими. Це вказує на те, що зазначені маркери відображають загальний ступінь ішемічного й запального ураження, але не є достатньо специфічними для диференціації підтипів ішемічного інсульту. Отже, хоча вони можуть бути використані для оцінки тяжкості стану та прогнозування перебігу, їхня діагностична цінність для класифікації типу інсульту залишається обмеженою.

Додатковим важливим спостереженням є тісний функціональний зв'язок між цитокінами та ММП: активація ІЛ-6 та ФНП-α через сигнальні каскади NF-κB стимулює транскрипцію генів ММП, посилюючи нейрозапальну відповідь. Це підтримує концепцію, за якою комбіноване дослідження запальних і ферментативних маркерів може мати більшу прогностичну значущість, ніж ізольована оцінка одного біомолекулярного класу.

Внесок авторів: Тетяна Галенова – концептуалізація, методологія, валідація даних, написання (оригінальна чернетка); Ракша Наталія – методологія, написання (перегляд і редагування).

Список використаних джерел

Candelario-Jalil, E., Yang, Y., & Rosenberg, G. A. (2009). Diverse roles of matrix metalloproteinases and tissue inhibitors of metalloproteinases in neuroinflammation and cerebral ischemia. *Neuroscience*, 158(3), 983–994. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2008.06.025

Castellanos, M., Leira, R., Serena, J., Pumar, J. M., Lizasoain, I., Castillo, J., & Dávalos, A. (2003). Plasma metalloproteinase-9 concentration predicts hemorrhagic transformation in acute ischemic stroke. *Stroke*, 34(1), 40–46. https://doi.org/10.1161/01.str.0000046764.57344.31

Clark, A. W., Krekoski, C. A., Bou, S. S., Chapman, K. R., & Edwards, D. R. (1997). Increased gelatinase A (MMP-2) and gelatinase B (MMP-9) activities in human brain after focal ischemia. *Neuroscience Letters*, 238(1-2), 53–56. https://doi.org/10.1016/s0304-3940(97)00859-8

GBD 2019 Stroke Collaborators. (2021). Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Neurology*, 20(10), 795–820. https://doi.org/10.1016/S1474-4422(21)00252-0

Griñán, K., Arboix, A., Massons, J., Díez, L., Vergés, E., Gil, F., Arboix-Alió, J., Sánchez-López, M. J., & García-Eroles, L. (2021). Cardioembolic stroke: Risk factors, clinical features, and early outcome in 956 consecutive patients. *Revista de Investigación Clínica,* 73(1), 23-30. https://doi.org/10.24875/ric.20000227

Lakhan, S. E., Kirchgessner, A., & Hofer, M. (2009). Inflammatory mechanisms in ischemic stroke: Therapeutic approaches. *Journal of Translational Medicine,* **7**, Article 97. https://doi.org/10.1186/1479-5876-7-97

Li, X., Lin, S., Chen, X., Huang, W., Li, Q., Zhang, H., Chen, X., Yang, S., Jin, K., & Shao, B. (2019). The prognostic value of serum cytokines in patients with acute ischemic stroke. *Aging and Disease,* 10(3), 544–556. https://doi.org/10.14336/AD.2018.0820

Lo, E. H. (2008). A new penumbra: Transitioning from injury into repair after stroke. *Nature Medicine,* 14(5), 497–500. https://doi.org/10.1038/nm1735

Magnoni, S., Baker, A., George, S. J., Duncan, W. C., Kerr, L. E., McCulloch, J., & Horsburgh, K. (2004). Differential alterations in the expression and activity of matrix metalloproteinases 2 and 9 after transient cerebral ischemia in mice. *Neurobiology of Disease,* 17(2), 188–197. https://doi.org/10.1016/j.nbd.2004.07.020

Ormstad, H., Aass, H. C., Lund-Sørensen, N., Amthor, K. F., & Sandvik, L. (2011). Serum levels of cytokines and C-reactive protein in acute ischemic stroke patients, and their relationship to stroke lateralization, type, and infarct volume. *Journal of Neurology*, 258(4), 677–685. https://doi.org/10.1007/s00415-011-6006-0

Pawluk, H., Woźniak, A., Tafelska-Kaczmarek, A., Kosinska, A., Pawluk, M., Sergot, K., Grochowalska, R., & Kołodziej, R. (2025). The role of IL-6 in ischemic stroke. *Biomolecules,* 13(4), 663. https://doi.org/10.3390/biom15040470

Prokopiv, M. M., Okuneva, S.-M. S., Heletiuk, Y. L., Fartushyna, O. Y., & Symonenko, G. G. (2024). The influence of the war events on the epidemiology of cerebrovascular diseases and strokes among residents of Kyiv, Ukraine. *International Neurological Journal*, 20(7), 394–398. https://doi.org/10.22141/2224-0713.20.7.2024.1119

Ramos-Fernandez, M., Bellolio, F., & Stead, L. G. (2011). Matrix metalloproteinase-9 as a marker for acute ischemic stroke: A systematic review. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases,* 20(1), 47–54. https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2009.10.008

Smith, C. J., Emsley, H. C. A., Gavin, C. M., Georgiou, R. F., Vail, A., Barberan, E. M., del Zoppo, G. J., Hallenbeck, J. M., Rothwell, N. J., Hopkins, S. J., & Tyrrell, P. J.(2004). Peak plasma interleukin-6 and other peripheral markers of inflammation in the first week of ischaemic stroke correlate with brain infarct volume, stroke severity and long-term outcome. *BMC Neurology,* 4, Article 2. https://doi.org/10.1186/1471-2377-4-2

Tsao, C. W., Aday, A. W., Almarzooq, Z. I., Anderson, C. A. M., Arora, P., Avery, C. L., Baker-Smith, C. M., Beaton, A. Z., Boehme, A. K., Buxton, A. E., Commodore-Mensah, Y., Elkind, M. S. V., Evenson, K. R., Eze-Nliam, C., Fugar, S., Generoso, G., Heard, D. G., Hiremath, S., Ho, J. E., Kalani, R., Kazi, D. S., Ko, D., Levine, D. A., Liu, J., Ma, J., Magnani, J. W., Michos, E. D., Mussolino, M. E., Navaneethan, S. D., Parikh, N. I., Poudel, R., Rezk-Hanna, M., Roth, G. A., Shah, N. S., St-Onge, M.-P., Thacker, E. L., Virani, S. S., Voeks, J. H., Wang, N.-Y., Wong, N. D., Wong, S. S., Yaffe, K., Martin, S. S., & American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. (2023). Heart disease and stroke statistics—2023 update: A report from the American Heart Association. *Circulation,* 147(8), e93–e621. https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001123

Turner, R. J., & Sharp, F. R. (2016). Implications of MMP9 for blood brain barrier disruption and hemorrhagic transformation following ischemic stroke. *Frontiers in Cellular Neuroscience,* 10, Article 56. https://doi.org/10.3389/fncel.2016.00056

Zhu, H., Hu, S., Li, Y., Sun, Y., Xiong, X., Hu, X., Chen, J., & Qiu, S. (2022). Interleukins and ischemic stroke. *Frontiers in Immunology,* 13, Article 828447. https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.828447

References

Candelario-Jalil, E., Yang, Y., & Rosenberg, G. A. (2009). Diverse roles of matrix metalloproteinases and tissue inhibitors of metalloproteinases in neuroinflammation and cerebral ischemia. *Neuroscience,* 158(3), 983–994. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2008.06.025

Castellanos, M., Leira, R., Serena, J., Pumar, J. M., Lizasoain, I., Castillo, J., & Dávalos, A. (2003). Plasma metalloproteinase-9 concentration predicts hemorrhagic transformation in acute ischemic stroke. *Stroke,* 34(1), 40–46. https://doi.org/10.1161/01.str.0000046764.57344.31

Clark, A. W., Krekoski, C. A., Bou, S. S., Chapman, K. R., & Edwards, D. R. (1997). Increased gelatinase A (MMP-2) and gelatinase B (MMP-9) activities in human brain after focal ischemia. *Neuroscience Letters,* 238(1–2), 53–56. https://doi.org/10.1016/s0304-3940(97)00859-8

GBD 2019 Stroke Collaborators. (2021). Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Neurology,* 20**(**10), 795–820. https://doi.org/10.1016/S1474-4422(21)00252-0

Griñán, K., Arboix, A., Massons, J., Díez, L., Vergés, E., Gil, F., Arboix-Alió, J., Sánchez-López, M. J., & García-Eroles, L. (2021). Cardioembolic stroke: Risk factors, clinical features, and early outcome in 956 consecutive patients. *Revista de Investigación Clínica,* 73(1), 23–30. https://doi.org/10.24875/ric.20000227

Lakhan, S. E., Kirchgessner, A., & Hofer, M. (2009). Inflammatory mechanisms in ischemic stroke: Therapeutic approaches. *Journal of Translational Medicine,* 7, Article 97. https://doi.org/10.1186/1479-5876-7-97

Li, X., Lin, S., Chen, X., Huang, W., Li, Q., Zhang, H., Chen, X., Yang, S., Jin, K., & Shao, B. (2019). The prognostic value of serum cytokines in patients with acute ischemic stroke. *Aging and Disease,* 10(3), 544–556. https://doi.org/10.14336/AD.2018.0820

Lo, E. H. (2008). A new penumbra: Transitioning from injury into repair after stroke. *Nature Medicine,* 14(5), 497–500. https://doi.org/10.1038/nm1735

Magnoni, S., Baker, A., George, S. J., Duncan, W. C., Kerr, L. E., McCulloch, J., & Horsburgh, K. (2004). Differential alterations in the expression and activity of matrix metalloproteinases 2 and 9 after transient cerebral ischemia in mice. *Neurobiology of Disease,* 17(2), 188–197. https://doi.org/10.1016/j.nbd.2004.07.020

Ormstad, H., Aass, H. C., Lund-Sørensen, N., Amthor, K. F., & Sandvik, L. (2011). Serum levels of cytokines and C-reactive protein in acute ischemic stroke patients, and their relationship to stroke lateralization, type, and infarct volume. *Journal of Neurology,* 258(4), 677–685. https://doi.org/10.1007/s00415-011-6006-0

Pawluk, H., Woźniak, A., Tafelska-Kaczmarek, A., Kosinska, A., Pawluk, M., Sergot, K., Grochowalska, R., & Kołodziej, R. (2023). The role of IL-6 in ischemic stroke. *Biomolecules,* 13(4), 663. https://doi.org/10.3390/biom13040663

Prokopiv, M. M., Okuneva, S.-M. S., Heletiuk, Y. L., Fartushyna, O. Y., & Symonenko, G. G. (2024). The influence of the war events on the epidemiology of cerebrovascular diseases and strokes among residents of Kyiv, Ukraine. *International Neurological Journal*, 20(7), 394–398. https://doi.org/10.22141/2224-0713.20.7.2024.1119

Ramos-Fernandez, M., Bellolio, F., & Stead, L. G. (2011). Matrix metalloproteinase-9 as a marker for acute ischemic stroke: A systematic review. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases,* 20(1), 47–54. https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2009.10.008

Smith, C. J., Emsley, H. C. A., Gavin, C. M., Georgiou, R. F., Vail, A., Barberan, E. M., del Zoppo, G. J., Hallenbeck, J. M., Rothwell, N. J., Hopkins, S. J., & Tyrrell, P. J.(2004). Peak plasma interleukin-6 and other peripheral markers of inflammation in the first week of ischaemic stroke correlate with brain infarct volume, stroke severity and long-term outcome. *BMC Neurology,* 4, Article 2. https://doi.org/10.1186/1471-2377-4-2

Tsao, C. W., Aday, A. W., Almarzooq, Z. I., Anderson, C. A. M., Arora, P., Avery, C. L., Baker-Smith, C. M., Beaton, A. Z., Boehme, A. K., Buxton, A. E., Commodore-Mensah, Y., Elkind, M. S. V., Evenson, K. R., Eze-Nliam, C., Fugar, S., Generoso, G., Heard, D. G., Hiremath, S., Ho, J. E., Kalani, R., Kazi, D. S., Ko, D., Levine, D. A., Liu, J., Ma, J., Magnani, J. W., Michos, E. D., Mussolino, M. E., Navaneethan, S. D., Parikh, N. I., Poudel, R., Rezk-Hanna, M., Roth, G. A., Shah, N. S., St-Onge, M.-P., Thacker, E. L., Virani, S. S., Voeks, J. H., Wang, N.-Y., Wong, N. D., Wong, S. S., Yaffe, K., Martin, S. S., & American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. (2023). Heart disease and stroke statistics—2023 update: A report from the American Heart Association. *Circulation,* 147(8), e93–e621. https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001123

Turner, R. J., & Sharp, F. R. (2016). Implications of MMP9 for blood brain barrier disruption and hemorrhagic transformation following ischemic stroke. *Frontiers in Cellular Neuroscience,* 10, Article 56. https://doi.org/10.3389/fncel.2016.00056

Zhu, H., Hu, S., Li, Y., Sun, Y., Xiong, X., Hu, X., Chen, J., & Qiu, S. (2022). Interleukins and ischemic stroke. *Frontiers in Immunology,* 13, Article 828447. https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.828447

Отримано редакцією журналу / Received: 28.03.25
Прорецензовано / Revised: 28.04.25
Схвалено до друку / Accepted: 29.05.25

Tetiana HALENOVA, PhD (Biol.) Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0003-2973-2646
e-mail: galenovatanya@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Nataliia RAKSHA, DSc (Biol.) Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0001-6654-771X
e-mail: nkudina@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

LEVELS OF MATRIX METALLOPROTEINASES IN PATIENTS WITH ISCHEMIC STROKE OF DIFFERENT ETIOLOGIES

Background. ***Ischemic stroke remains one of the leading causes of mortality and long-term disability worldwide. A particularly pressing issue is the differential diagnosis of its subtypes, notably cardioembolic (CE) and atherothrombotic (AT) strokes, which differ significantly in terms of pathogenesis, clinical presentation, and prognosis. The identification of biomarkers capable of reflecting stroke severity or serving as potential diagnostic indicators remains a scientific challenge. This study aimed to assess the plasma levels of matrix metalloproteinases (MMPs), particularly MMP-2 and MMP-9, as well as interleukin-6 (IL-6) and tumor necrosis factor-alpha (TNF-α), in patients with CE and AT stroke to evaluate their potential as differential diagnostic and prognostic markers.***

Methods. ***The study included 122 patients with ischemic stroke admitted to the neurology department of Kyiv City Clinical Hospital No. 4 between 2016 and 2020. Based on comprehensive clinical assessment, neuroimaging, and detailed medical history, patients were categorized into two groups: those with atherothrombotic stroke (AT, n = 66) and those with cardioembolic stroke (CE, n = 56). A control group comprised 35 healthy individuals. Biomarker levels were measured in plasma samples using enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA).***

Results. ***Significantly elevated plasma levels of MMP-2, MMP-9, IL-6, and TNF-α were observed in both patient groups compared to controls (p < 0.05). Median concentrations of all four biomarkers were higher in the CE group; however, intergroup differences between CE and AT subtypes did not reach statistical significance. These findings suggest a possible association between biomarker levels and the severity of ischemic injury, though the lack of subtype specificity limits their differential diagnostic utility.***

Conclusions. ***Matrix metalloproteinases (MMP-2 and MMP-9) and proinflammatory cytokines (IL-6 and TNF-α) demonstrate potential as biomarkers of ischemic stroke severity. Their levels are significantly elevated in the acute phase of the disease, yet they do not allow for reliable differentiation between atherothrombotic and cardioembolic subtypes. Further studies should focus on the dynamic profiling of these biomarkers in conjunction with other clinical and laboratory indicators to support personalized stroke management strategies.***

Keywords: ***ischemic stroke, matrix metalloproteinases, proinflammatory cytokines, plasma biomarkers.***

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

Наукове видання

ВІСНИК

КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

БІОЛОГІЯ

Випуск 2(101)

Комп'ютерна обробка статей – Олександр Різун

Редактор *І. А. Кирницька*
Технічний редактор *Ю. О. Куценко*

Оригінал-макет виготовлено ВПЦ "Київський університет"

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, статистичних даних, відповідної галузевої термінології, імен власних та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали.

Формат 60x84$^{1/8}$. Обл.-вид. арк. 5,1. Ум. друк. арк. 4,7. Наклад 300. Зам. № 225-11395.
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № Б2.
Підписано до друку 27.06.25

Видавець і виготовлювач
ВПЦ "Київський університет"
Б-р Тараса Шевченка, 14, м. Київ, 01601, Україна
☎ (38044) 239 32 22; (38044) 239 31 58; (38044) 239 31 28
e-mail: vpc@knu.ua; vpc_div.chief@univ.net.ua; redaktor@univ.net.ua
https://vpc.univ.kiev.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02