

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Черкаський національний університет  
імені Богдана Хмельницького

ISSN (Print): 2076-5835  
ISSN (Online): 2518-1211

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-2

**ВІСНИК  
ЧЕРКАСЬКОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ**  
Серія  
**БІОЛОГІЧНІ НАУКИ**

**BULLETIN  
OF THE CHERKASY BOHDAN KHMELNYTSKY  
NATIONAL UNIVERSITY  
BIOLOGICAL SCIENCES**

Науковий журнал  
Виходить 2 рази на рік

**№2. 2025**

Черкаси – 2025

**Засновник, редакція, видавець і виготовлювач –  
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького.  
Ідентифікатор медіа в Реєстрі суб'єктів у сфері медіа R30-01521.**

Науковий збірник містить статті, в яких розглядаються актуальні проблеми сучасної біологічної науки. Авторами робіт є доктори, кандидати наук, аспіранти та студенти вищих навчальних закладів та наукових установ різних регіонів України.

Для широкого кола науковців, викладачів, аспірантів та студентів.

Наказом Міністерства освіти і науки України від 17.03.2020 №409 включено до Переліку наукових фахових видань України категорії "Б"

**Випуск № 2 наукового журналу Вісник Черкаського університету, серія «Біологічні науки» рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького (протокол №6 від 23.12.25).**

Журнал індексується в наукометричних базах даних Google Scholar, Ulrichsweb, Index Copernicus.

**Редакційна колегія серії:**

Лизогуб В.С., доктор біологічних наук, професор (відповідальний редактор, Україна); Светлова О.Д., кандидат біологічних наук, доцент (відповідальний секретар, Україна); Арслан М., доктор філософії, доцент (Туреччина); Абуладзе А.В., кандидат біологічних наук (Грузія); Башенко М.І., академік НААН, доктор сільськогосподарських наук, професор (Україна); Гаврилюк М.Н., кандидат біологічних наук, доцент (Україна); Ілюха Л.М., кандидат біологічних наук, доцент (Україна); Коваленко С.О., доктор біологічних наук, професор (Україна); Кожемяко Т.В., кандидат біологічних наук, доцент (Україна); Коробейнікова Л.Г., доктор біологічних наук, професор (Україна); Лисенко О.М. доктор біологічних наук, професор (Україна); Макарчук М.Ю., доктор біологічних наук, професор (Україна); Палабійік А.А., доктор філософії, викладач (Туреччина); Петренко Ю.О., кандидат біологічних наук, доцент (Україна); Портніченко В.І., доктор медичних наук, старший науковий співробітник, професор (Україна); Руксенас О., доктор біологічних наук, професор (Литва); Спрягайло О.В., кандидат біологічних наук, доцент (Україна); Хоменко С.М., кандидат біологічних наук, доцент (Україна); Чистовська Ю.Ю., доктор психологічних наук, професор (Україна); Юхименко Л.І., доктор біологічних наук, професор (Україна).

За дотримання права інтелектуальної власності,  
достовірність матеріалів та обґрунтування висновків відповідають автори.

**Адреса редакційної колегії:**

18031, Черкаси, бульвар Шевченка, 81,  
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,  
кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації.  
Тел. (0472) 45-44-23  
<http://bio-ejournal.cdu.edu.ua/index>  
[svetlova\\_2004@ukr.net](mailto:svetlova_2004@ukr.net)

Founder, editorial, publisher and manufacturer –  
Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy  
Media Identifier in the Register of Media Sector Subjects R30-01521.  
This journal is meant for teachers, researchers, postgraduates and students.

Journal is entered into the «List of scientific professional editions of Ukraine of category «B» in which results of dissertational researches in competition for scientific degrees of doctor of science and candidate of science (PhD) may be published by a Decree of MES of Ukraine dd 17.03.2020 No 409

**Issue №2 of the scientific journal «Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky national university. Biological sciences» is recommended for publication and dissemination through the Internet by the Academic Council of Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy (protocol number 6 dated 23.12.25).**

The journal are indexed in an international scientific and metric databases Index Copernicus, Ulrichsweb (Ulrich's Periodicals Directory) and Google Scholar.

#### **Editorial board:**

**Chief editor:** Doctor of Biological Sciences, Professor Volodymyr Serhiiovych Lyzohub.

**Executive secretary:** PhD (Candidate of Biological Science), Associate Professor Olena Dmitrivna Sviatlova.

**Editorial board:** Arslan M., PhD, Associate Professor (Turkey); Abuladze A., Candidate of Biological Sciences (PhD), Associate Professor (Georgia); Bashchenko M., Academician of the National Academy of Agricultural Sciences, Doctor of Agricultural Sciences; Chystovska Yu., Doctor of Psychological Sciences, Professor; Gavrilyuk M., Candidate of Biological Sciences (PhD), Associate Professor; Iliukha L., Candidate of Biological Sciences (PhD), Associate Professor; Khomenko S., Candidate of Biological Sciences (PhD), Associate Professor; Kozhemyako T., Candidate of Biological Sciences (PhD), Associate Professor; Korobeynikova L., Doctor of Biological Sciences, Professor; Kovalenko S. Doctor of Biological Sciences, Professor; Lysenko O.M. Doctor of Biological Sciences, Professor; Makarchuk M., Doctor of Biological Sciences, Professor; Palabyik A., PhD, Lecturer (Turkey); Petrenko Yu., Candidate of Biological Sciences (PhD), Associate Professor; Portnychenko V., Doctor of Medical Sciences, Senior Researcher, Professor; Ruksenas O., Doctor of Biological Sciences, Professor (Lithuania); Spryagaylo O. Candidate of Biological Sciences (PhD), Associate Professor; Yukhymenko L., Doctor of Biological Sciences, Professor.

The authors are responsible for the observance of the intellectual property right, for the reliability of the materials and for the substantiation of the conclusions.

#### **Editorial office address:**

18031, Cherkasy, Shevchenko Blvd., 81  
Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy  
Phone. (0472) 45-44-23  
<http://bio-ejournal.cdu.edu.ua/index>  
[svetlova\\_2004@ukr.net](mailto:svetlova_2004@ukr.net)

УДК 618.821

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-2-4-13

**Богдан Олександрович Артеменко**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[bogdan198803@ukr.net](mailto:bogdan198803@ukr.net)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9188-9375>

**Сергій Миколайович Хоменко**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[skhomenko@ukr.net](mailto:skhomenko@ukr.net)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0918-8735>

**Віталій Олександрович Пустовалов**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[v\\_pustovalov@ukr.net](mailto:v_pustovalov@ukr.net)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8625-6175>

**Тетяна Володимирівна Кожемяко**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[kozhemako@ukr.net](mailto:kozhemako@ukr.net)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4752-4197>

## **ОЦІНКА ВПЛИВУ ІНДИВІДУАЛЬНО-ТИПОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ НА ФОРМУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ІГРОВОГО МИСЛЕННЯ У ВОЛЕЙБОЛІСТІВ РІЗНОГО ВІКУ МЕТОДОМ ГРУПОВОГО УРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ**

**Вступ.** Відомо, що у спорті досить широко використовуються методи математичної статистики та аналізу результатів дослідження. Проте, вони орієнтуються здебільшого на обробці результатів традиційними методами статистики. Тоді як для виявлення впливу індивідуально-типологічних властивостей нервової системи, а саме: функціональної рухливості (ФРНП), зрівноваженості (ЗНП) нервових процесів на процес формування спеціального ігрового мислення волейболістів різного віку цікавим є питання застосування методу групового урахування аргументів. Адже, використання такого методу математичної статистики могло б дозволити змодельовати та прогнозувати перспективи удосконалення, як індивідуальних властивостей нервової системи так і інших специфічних психофізіологічних характеристик гравців в процесі тривалих та систематичних занять волейболом. Тому, **метою роботи** було встановити вплив індивідуально-типологічних властивостей нервової системи, психологічних функцій, координаційних можливостей та активної рухової діяльності на ігрове мислення волейболістів різного віку.

**Методи дослідження.** Систематизації та узагальнення сучасної наукової літератури, метод групового урахування аргументів (МГУА), дослідження: типологічних нейродинамічних властивостей нервової системи на програмному комплексі «Діагност-1М», різновидів мислення та інших психофізіологічних властивостей (пам'яті, сприйняття простору та часу) за комп'ютерною програмою «Інтест», здібності до контролю швидкісної сили та диференціації м'язових зусиль, просторово-часової регуляції рухів – визначали за руховими тестами, ігрове мислення волейболістів діагностували за авторською інтерактивною програмою “Volleyball-Test”, також застосовувалися методи математичної статистики.

**Результати дослідження.** За результатами моделювання методом МГУА встановлено вплив індивідуально-типологічних властивостей нервової системи волейболістів різного віку на психофізіологічні та координаційні властивості, ігрове

мислення. Аналіз даних показав, що з віком у результаті систематичних занять волейболом поступово формується високий рівень психофізіологічних властивостей операційного мислення, властивостей нервової системи до контролю швидкісної сили та диференціації м'язових зусиль, просторово-часової регуляції рухів, орієнтування у просторі і часі та типологічних властивостей нервової системи (ФРНП, ЗНП), що чинить позитивний вплив на формування спеціального ігрового мислення гравців. **Висновок.** Результати демонструють перспективи та шляхи застосування методу математичного моделювання, а саме МГУА у спорті з метою більш глибокого розуміння процесу формування спеціального ігрового мислення гравців та підвищення ефективності процесу підготовки волейболістів в різні вікові періоди.

**Ключові слова:** функціональна рухливість нервових процесів, зрівноваженість нервових процесів, опорно-руховий апарат, нервова регуляція, математична статистика, математичне моделювання, метод групового урахування аргументів, координаційні властивості, індивідуально-типологічні властивості нервової системи, психофізіологічні функції.

**Постановка проблеми.** Волейбол, як вид спорту характеризується високою динамічністю гри, а тому представляє високі вимоги до анатомічних систем організму, які відповідають за сприйняття швидкозмінних ігрових ситуацій, аналіз отриманої інформації та реалізацію плану дій у відповідь. Тобто, за прийнятим рішенням (усвідомленою, аналітичною діяльністю кори півкуль головного мозку) гравця, слідує певні тактико-технічні дії (стрибки, переміщення, падіння, нападаючі удари чи обманні рухи), які характеризуються високою варіативністю та складністю просторово-часових та динамічних параметрів руху. Реалізація таких рухів відповідає рівню можливостей опорно-рухового апарату та функціональних систем організму спортсмена, які забезпечують свідому фізичну активність [1]. Відомо, що антропогенна діяльність людини накладає відбиток на формування, розвиток та діяльність різних систем організму: нервової, серцево-судинної, ендокринної та опорно-рухового апарату [2, 3, 4, 5, 6]. Загалом в даних роботах розкривається вплив певного роду діяльності на формування різних функціональних систем організму людини.

На даний момент однією з існуючих проблем психологічного забезпечення в різних сферах та умовах діяльності є недостатнє розуміння особливостей формування спеціальних когнітивних властивостей у осіб під дією тривалого та систематичного фізичного навантаження, що відповідає даному виду фізичної активності [7, 8]. Зокрема, мало вивченим залишається питання впливу на процес формування спеціальних видів тактичного (ігрового) мислення волейболістів (яке проявляється у сприйнятті та оцінці просторово-часових умов ігрових ситуацій і реалізації дій у відповідь), не лише особистісних когнітивних, психічних функцій, нейродинамічних властивостей організму спортсмена, які є генетично детерміновані, але і вплив конкретної рухової (ігрової) діяльності, яка має тривалий, нерівномірний та систематичний характер дії на організм людини.

**Аналіз останніх публікацій.** В той же час, відомо, що підвищення ефективності процесу підготовки в різних видах діяльності можливе за допомогою розробки модельних характеристик або моделювання процесу діяльності [9, 10]. В наукових дослідженнях при обробці експериментальних даних використовують кореляційний чи факторний аналіз, залишаючи поза увагою інші види математичного аналізу чи моделювання, застосування яких може підвищити рівень теоретичної інтерпретації отриманої експериментальної інформації. Хоча, на матеріалах різних досліджень доведена ефективність використання методу групового урахування аргументів, як одного з методів математичного аналізу, за умови неповноти інформації та малої вибірки даних [11, 12]. Саме тому, застосування методу математичного моделювання для виявлення впливу особистісних індивідуально-типологічних, психофізіологічних властивостей та активної рухової діяльності на

формування спеціального (ігрового) мислення волейболістів різного віку може бути досить перспективним [13, 14].

**Мета дослідження** – встановити вплив індивідуально-типологічних властивостей нервової системи, психологічних функцій, координаційних можливостей та активної рухової діяльності на ігрове мислення волейболістів різного віку.

**Матеріали і методи дослідження.** В ході дослідження використовували методи аналізу, систематизації та узагальнення сучасної наукової літератури, метод групового урахування аргументів (МГУА) [12]. Дослідження когнітивних, сенсомоторних, нейродинамічних властивостей здійснювали за допомогою діагностичних ІТ комплексів: «Діагност-1М» та «Intest», а визначення здібностей спортсменів до контролю швидкісної сили та диференціації м'язових зусиль, просторово-часової регуляції рухів проводили за допомогою комплексних рухових тестів, ігрового інтелекту за інтерактивною методикою “Volleyball-Test” [15, 16]. Оскільки дані в групах показників спортсменів та не спортсменів попадали під закон нормального розподілу, то для встановлення достовірності різниць між ними було використано t-критерій Стьюдента [17, 18].

**Організація дослідження.** Дослідження проводилися на базі волейбольних команд СК «Сумхімпром» м. Суми, СК «Фаворит» м. Лубни, ВК «Імпексагро Спорт» м. Черкаси, що були представниками чемпіонату України серед команд суперліги, ВК «СумДу» м. Суми – волейбольної команди на базі сумського державного університету, що є представником чемпіонату України серед команд вищої ліги, ДЮСШ № 2 м. Суми та СДЮСШОР № 2 м. Полтава. В дослідженні взяли участь 90 волейболістів та 116 не спортсменів чоловічої статі. Як волейболісти, так і не спортсмени за віковим фактором були розподілені на 4 вікові групи: підлітки 14-15, юнаки 16-17, 18-19 та дорослі 20-25 років.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Під час визначення компонентів, які впливають на формування та прояви спеціального (ігрового) мислення волейболістів різного віку ми використовували метод групового урахування аргументів (МГУА), розробником якого є О.Г. Івахненко [12]. При застосуванні багаторядного алгоритму МГУА відбувалося поступове ускладнення моделей, шляхом імітації процесу їх масової селекції. Генерувалася множина моделей першого ряду селекції у вигляді моделей опорного вигляду, які поєднували в собі попарну комбінацію показників масиву вихідних даних (МВД). Опорний вигляд моделі, як правило, формувався шляхом поєднання елементів поліному. Після цього кожна модель навчалася на послідовності  $A$  точок спостереження з метою розрахунку значення невідомих параметрів моделі  $a_0, a_1, a_2, \dots$ . Після цього кожна модель випробовувалася на послідовності  $B$  точок спостереження МВД. За результатами випробувань моделі ранжувалася за погіршенням значення критерію якості моделей. Наступний ряд селекції формувався із найякісніших моделей попереднього ряду. Процес навчання та випробування множини моделей повторювався до тих пір, поки якість моделей на наступному ряді не погіршувалася у відношенні до моделей попереднього ряду. В результаті отримали ієрархічне поєднання локальних моделей, що забезпечує оптимальну складність та якість ідентифікації функціональної залежності за формулою:  $y_i = f(X)$ ,  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{32}\}$ ,  $i = 1, n$ . Після цього нами визначалась впливовість параметрів моделей. З цією метою кожна із синтезованих моделей досліджувалась на чутливість своїх параметрів. Фіксувалася зміна значення модельованого показника при зміні значення кожного із параметрів при фіксованих значеннях інших параметрів. Значення вагових коефіцієнтів розраховувались за формулою [11]:

$$W_i = \frac{F'_i}{\sum_{i=1}^n F'_i} * 100\%,$$

де:  $W_i$  – ваговий коефіцієнт  $i$ -го параметра моделі;

$F'_i$  – частинна похідна моделі за  $i$ -м параметром;

$n$  – кількість показників МВД, які стали параметрами моделей.

Дослідження індивідуально-типологічних властивостей нервової системи, різновидів психологічних функцій та координаційних можливостей у волейболістів та не спортсменів різних вікових періодів продемонстрували, що у волейболістів всі досліджувані характеристики мали початкові вищі показники і з віком покращувалися з більшими приростами у показниках (табл. 1-3). Дані особливості можуть свідчити про певний позитивний вплив систематичних та тривалих занять волейболом на досліджуванні характеристики у спортсменів різного віку, а також про вплив спортивного відбору, процес якого відбувається з віком під час тривалої спортивної діяльності [13].

За показниками таблиці 1 можна судити про вікову динаміку індивідуально-типологічних властивостей нервової системи спортсменів різного віку.

Таблиця 1

Індивідуально-типологічні властивості нервової системи у волейболістів та не спортсменів різного віку

| Вік, Роки | Характеристики<br>Характер рухової активності | ПЗМР (мс) | РВ1-3 (мс) | РВ2-3 (мс)        | ФРНП (с)         | ЗНП (мс)         |
|-----------|-----------------------------------------------|-----------|------------|-------------------|------------------|------------------|
| 14-15     | Волейболісти (n=25)                           | 241,5±3,5 | 336,3±6,5  | <b>417,6±4,1*</b> | <b>67,1±0,4*</b> | 28,4±4,7         |
|           | Не спортсмени (n=28)                          | 250,0±3,2 | 341,1±3,5  | 448,3±6,2         | 71,7±1,2         | 27,3±3,8         |
| 16-17     | Волейболісти (n=25)                           | 242,4±4,2 | 322,4±8,6  | <b>424,2±9,3*</b> | <b>65,6±0,4*</b> | 25,6±2,2         |
|           | Не спортсмени (n=30)                          | 250,1±3,3 | 346,4±3,2  | 456,1±4,6         | 66,5±1,2         | 26,9±2,3         |
| 18-19     | Волейболісти (n=21)                           | 232,1±3,2 | 302,1±3,9  | <b>372,1±4,5*</b> | <b>63,7±0,4*</b> | 22,3±2,7         |
|           | Не спортсмени (n=30)                          | 265,6±3,7 | 348,4±4,6  | 440,1±6,7         | 65,4±1,6         | 25,5±3,2         |
| 20-25     | Волейболісти (n=19)                           | 227,9±2,6 | 305,2±5,7  | 346,3±6,2         | 62,1±0,5         | <b>18,5±2,3*</b> |
|           | Не спортсмени (n=28)                          | 256,6±6,1 | 333,7±8,3  | 410,1±9,0         | 64,0±1,3         | 23,4±2,7         |

Примітка: \* – вірогідність різниці у показниках досліджуваних характеристик між волейболістами та не спортсменами на рівні  $p < 0,05$ .

Волейболісти мали кращі показники реакції вибору двох з трьох подразників (РВ2-3) та функціональної рухливості нервових процесів (ФРНП) у віковий період до 19 років. В подальшому дані властивості залишалися незмінними. Очевидно, що ці нейрофізіологічні особливості відображають адаптацію центральної нервової системи до вимог високо динамічного виду спорту, досягають свого максимуму і в подальшому не покращуються, хоча деяка тенденція до зменшення часу реакції спостерігається і у віці 20-25 років. Зрівноваженість нервових процесів (ЗНП), навпаки, стає достовірно кращою лише у 20-25-річних спортсменів. Можливо, на встановлення якісного балансу між процесами збудження-гальмування в ЦНС потрібно як більше часу, який відводиться на специфічні тренування, так і більш тривалого процесу морфологічного дозрівання кіркових структур головного мозку. Проте, можна констатувати, що з віком усі показники у спортсменів або достовірно, або тенденційно покращуються. Підвищена рухливість нервових імпульсів свідчить про ефективнішу передачу та обробку інформації у кортикоспінальних шляхах, а збережена рівновага між процесами збудження та гальмування забезпечує гнучкість та точність рухових реакцій. Така збалансованість сприяє швидкому аналізу і прийняттю рішень у складних ігрових ситуаціях, зберігаючи при цьому мінімальний рівень надмірної активації, яка може заважати координації [4].

Вікові зміни координаційних можливостей — сприйняття простору і часу, баланс при ходьбі з закритими очима та точність стрибка наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Показники координаційних властивостей нервової системи у волейболістів та не спортсменів різного віку

| Вік, Роки | Характеристики рухової активності | Сприйняття простору (см) | Сприйняття часу (с) | Ходьба прямою із заплющеними очима (см) | Стрибок у дожину на точність (см) |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|
| 14-15     | Волейболісти (n=25)               | 11,4±0,4                 | 62,6±1,2            | 13,52±1,3                               | 106,8±1,4                         |
|           | Не спортсмени (n=28)              | 12,4±0,7                 | 63,6±2,4            | 16,0±1,5                                | 109,2±4,4                         |
| 16-17     | Волейболісти (n=25)               | <b>9,9±0,4*</b>          | <b>59,5±1,3*</b>    | <b>12,4±0,8*</b>                        | <b>105,6±2,4*</b>                 |
|           | Не спортсмени (n=30)              | 11,9±0,5                 | 62,1±1,4            | 15,2±1,3                                | 109,7±2,1                         |
| 18-19     | Волейболісти (n=21)               | <b>9,9±0,3*</b>          | <b>58,7±0,8*</b>    | <b>6,19±0,6*</b>                        | <b>97,5±1,5*</b>                  |
|           | Не спортсмени (n=30)              | 11,3±0,5                 | 62,8±1,1            | 20,7±2,8                                | 105,1±2,2                         |
| 20-25     | Волейболісти (n=19)               | <b>10,2±0,2*</b>         | <b>58,8±1,0*</b>    | <b>6,57±0,4*</b>                        | <b>99,4±1,5*</b>                  |
|           | Не спортсмени (n=28)              | 12,4±0,5                 | 65,1±1,7            | 17,9±1,9                                | 91,9±2,7                          |

Примітка: \* – вірогідність різниці у показниках досліджуваних характеристик між волейболістами та не спортсменами на рівні  $p < 0,05$ .

Видно, що будь-яких достовірних змін у обстежуваних 14-15 років не спостерігалось за жодною досліджуваною характеристикою. Проте, починаючи з 16 і до 25 років волейболісти уже мали значно кращу сенсомоторну інтеграцію, ніж не спортсмени в тих же вікових групах. Можливо, ця особливість пов'язана з розвитком комплексних нейронних мереж, до складу яких входять сенсорні кори, мозочок і стовбур мозку, які відповідають за формування внутрішньої моделі положення тіла в просторі та часі. Тренування у волейболі, яке включає швидкі зміни позиції, точні рухи і балансування, стимулює поліпшення пропріоцептивної обробки та сенсомоторного контролю, що з віком консолідується, підвищуючи точність і стабільність рухових актів [1, 14].

Дані, представлені в таблиці 3 показують, що разом з фізичною активністю покращувалися й когнітивні функції, які представлені такими важливими для координації рухів показниками як: операційне, асоціативне, абстрактне та логічне мислення, а також показниками пам'яті на образи і числа. Проте достовірно кращий прояв когнітивних функцій починався лише з 18-19 річного віку і лише за показником асоціативного мислення. Всі інші характеристики – мають достовірно кращі показники у волейболістів починаючи уже з 20-25-річного віку. Цікаво, що показник пам'яті на образи, в межах обстежуваних груп, практично не змінювався в усьому віковому діапазоні.

Таблиця 3

Показники когнітивних функцій у осіб різного віку в залежності від характеру рухової активності

| Вік, Роки | Характеристики рухової активності | Абстрактне мислення (%) | Асоціативне мислення (%) | Логічне мислення (%) | Операційне мислення (%) | Пам'ять на образи (%) | Пам'ять на числа (%) |
|-----------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| 14-15     | Волейболісти (n=25)               | 45,8±2,1                | 35,4±1,9                 | 92,9±1,5             | 90,4±1,8                | 5,4±0,1               | 28,4±4,7             |
|           | Не спортсмени (n=28)              | 41,1±1,8                | 30,3±1,7                 | 93,5±1,7             | 88,9±1,9                | 5,6±0,2               | 27,3±3,8             |
| 16-17     | Волейболісти (n=25)               | 44,4±1,6                | 38,8±2,2                 | 92,4±1,5             | 88,8±2,3                | 5,5±0,1               | 25,6±2,2             |
|           | Не спортсмени (n=30)              | 42,3±1,3                | 36,6±1,9                 | 93,6±1,7             | 90,3±2,01               | 5,3±0,2               | 26,9±2,3             |
| 18-19     | Волейболісти (n=21)               | 49±2,1                  | <b>42,3±2,1*</b>         | 96,1±1,2             | 94,2±1,7                | 6,2±0,1               | 22,3±2,7             |
|           | Не спортсмени (n=30)              | 46±1,4                  | 36,5±2,4                 | 95,6±1,4             | 93,6±1,6                | 6,5±0,2               | 25,5±3,2             |
| 20-25     | Волейболісти (n=19)               | <b>55,7±2,3*</b>        | <b>44,7±1,9*</b>         | <b>96,8±1,3*</b>     | <b>94,7±1,*</b>         | 6,2±0,2               | <b>18,5±2,3*</b>     |
|           | Не спортсмени (n=28)              | 50,2±1,7                | 41,07±1,5                | 91,7±2,1             | 87,8±2,4                | 6,1±0,1               | 23,4±2,7             |

Примітка: \* – вірогідність різниці у показниках досліджуваних характеристик між волейболістами та не спортсменами на рівні  $p < 0,05$ .



Очевидно, що тренувально-ігровий процес не сприяв якісному прояву даної характеристики, а тому вона залишалася мало відмінною в представлених групах. Аналізуючи представлені результати можна припустити, що активація передньої кори великих півкуль, гіпокампа і моторних зон під час тренувань створює умови для посилення нейропластичності. Волейболісти краще запам'ятовують, опрацьовують тактичну інформацію, швидко роблять висновки і приймають рішення в нестабільних умовах, що в ігрових ситуаціях вкрай важливо для ефективної координації та регуляції рухів. Крім того, тренування сприяє зміцненню зв'язків між сенсорними і моторними областями мозку, підтримуючи безперервну інтеграцію когнітивних та рухових процесів [16].

Ймовірно, що систематичні тренування з волейболу в різних вікових групах формують тісну взаємодію між нервово-м'язовою системою, мозочком і корковими центрами, що, в свою чергу, забезпечує не лише швидку реакцію, орієнтацію у просторі і часі, але й високий рівень аналітичних функцій мозку для адаптивного управління рухами. Таким чином, з віком і досвідом створюється більш інтегрована і ефективна анатомо-фізіологічна система координації та регуляції рухів у волейболістів, яка підтримує успішність у складних динамічних ігрових умовах. Ці механізми мають фундаментальне значення для тренувального процесу, а показники ФРНП і ЗНП можуть слугувати критеріями для відбору та індивідуалізації підготовки спортсменів відповідно до їх вікових особливостей та рівня нервової системи [13, 14, 16].

Аналіз результатів математичного моделювання методом МГУА продемонстрував, що до структури компонентів, які впливають на процес формування тактичного (ігрового) мислення волейболістів різного віку увійшли: властивості та фізичні можливості опорно-рухового апарату і нервової системи до сприйняття та орієнтування у просторі і часі, контролю швидкісної сили та диференціації м'язових зусиль, просторово-часової регуляції рухів, операційне мислення, функціональна рухливість та врівноваженість нервових процесів (рис. 1). Особливу зацікавленість в отриманих результатах математичного моделювання викликає значно вищі (більш ніж у двічі) відсоткові коефіцієнти впливу функціональної рухливості та врівноваженості нервових процесів на спеціальне ігрове мислення волейболістів 20 років і старше.

Оскільки дані властивості є генетично детерміновані можемо припустити, що суттєвіший вплив ФРНП і ЗНП у старших гравців, є наслідком спортивного відбору та високої конкуренції у професійному спорті, коли з плином багаторічних тренувань у спорті залишаються гравці із сильною, рухливою нервовою системою, яка краще адаптується до навантажень, що виникають під час активних, систематичних і тривалих занять волейболом [13, 14].

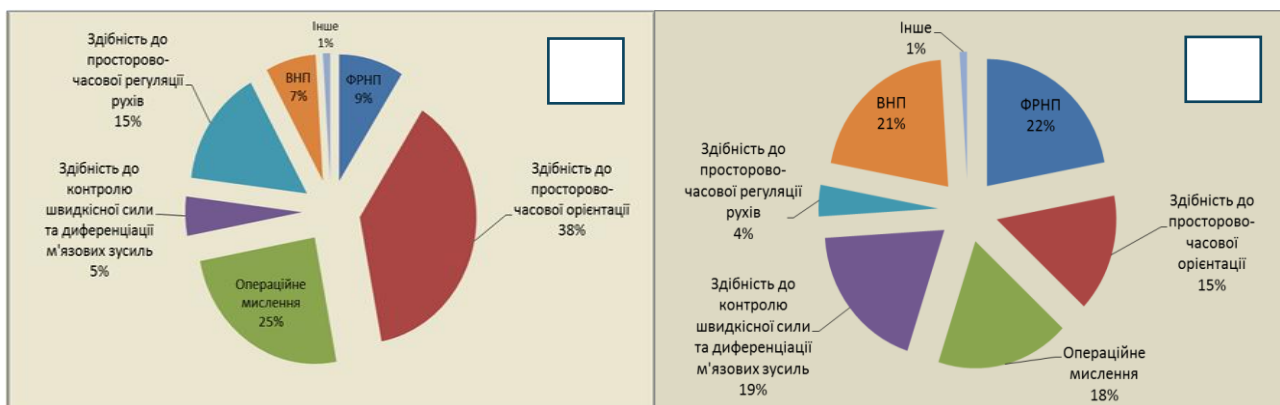


Рисунок 1. Ваговий коефіцієнт впливовості індивідуально-типологічних властивостей, психологічних функцій, координаційних можливостей та активної рухової діяльності (під час занять волейболом) на спеціальне (ігрове) мисленням волейболістів 14-19 років (А) та 20-25 років (Б).

Загалом, аналізуючи структурні компоненти зв'язків спеціального (ігрового) мислення волейболістів різного віку, які виявлені за допомогою МГҮА, можемо відмітити той факт, що зі зміною віку під дією систематичних, тривалих занять волейболом відмічається висока значимість операційного мислення, властивостей м'язово-нервового апарату до контролю швидкісної сили та диференціації м'язових зусиль, просторово-часової регуляції рухів та властивостей нервової системи до орієнтування у просторі і часі [1, 2, 15].

Отримані результати свідчать про особливу важливість анатомо-фізіологічної системи координації та регуляції рухів у волейболістів в різні вікові періоди, адже всі досліджувані компоненти, що увійшли до структури працюють, як єдине ціле і тим самим дозволяють не лише правильно сприймати ігрову ситуацію але, і адекватно діяти у відповідь. Припускаємо, що саме під впливом специфічних, систематичних, тривалих та цілеспрямованих фізичних навантажень у волейболістів з віком формується тісний взаємозв'язок функціональних систем організму (нервово-м'язової, середнього мозку та мозочка), які відповідають за просторово-часову орієнтацію і просторово-часові параметри рухів з корою півкуль головного мозку, яка відповідає за внутрішню суть прийнятих рішень (аналітичну обробку сприйнятої інформації про час, місце та характер необхідних дій) гравцями на майданчику в різних ігрових ситуаціях. Адже, більшість ігрових дій гравці виконують у безопорному положенні (у стрибку чи під час падіння), після різких переміщень або ж по м'ячу який має швидку та не прямолінійну траєкторію руху. Також, впливовість показників ФРНП та ВНП можна використовувати, як критерій набору і відбору на різних етапах спортивної підготовки.

### Висновки

1. Аналіз літературних джерел дозволив виявити перспективні шляхи застосування методів математичного моделювання у спорті. Використання комплексних модельних характеристик змагальної діяльності, підготовленості спортсмена та взаємного їх зв'язку при тривалій, систематичній взаємодії може підвищити ефективність процесу підготовки гравців в різні вікові періоди.
2. За результатами моделювання методом групового урахування аргументів досліджено вплив психофізіологічних властивостей, ігрового мислення та індивідуально-типологічних властивостей нервової системи у волейболістів різного віку.
3. У результаті систематичних занять волейболом поступово формується високий рівень психофізіологічних властивостей операційного мислення, властивостей контролю швидкісної сили та диференціації м'язових зусиль, просторово-часової регуляції рухів, орієнтації у просторі і часі та типологічних властивостей нервової системи: ФРНП, ЗНП, що чинить позитивний вплив на формування спеціального ігрового мислення гравців. Дані особливості необхідно брати до уваги під час планування фізичного навантаження в різні вікові періоди підготовки волейболістів
4. Результати дослідження демонструють перспективи та шляхи застосування методу математичного моделювання, а саме МГҮА у спорті з метою більш глибокого розуміння процесу формування спеціального ігрового мислення гравців та підвищення ефективності процесу підготовки волейболістів в різні вікові періоди.

**Перспектива подальших досліджень** стосується розробки моделей управління навчально-тренувальним процесом волейболістів різного віку та статі за результатами моделювання й експериментальної перевірки їх ефективності.

### Список використаної література

1. Артеменко Б.О., Хоменко С.М., Кожемяко Т.В., Ілюха Л.М. (2023). Зв'язок енергетичного метаболізму волейболістів різного віку з ефективністю ігрової діяльності. *Вісник Черкаського університету. Серія Біологічні науки* (№1). С. 19-26.
2. Макаренко М.В. (2007). *Основи професійного відбору військових спеціалістів та методики вивчення індивідуальних психофізіологічних відмінностей між людьми*. К: Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України. 395 с.

3. Дегтяренко Т.В. (2018). Онтологія визначення основних властивостей нервової системи людини в концепті розробки проблеми індивідуальності. *Український журнал медицини, біології та спорту*. Т. 3. № 5(14). С. 266–274.
4. Коробейніков Г.В., Тропін Ю.М., Вольський Д.С., Жирнов О.В., Коробейнікова Л.Г., Чернозуб А.А. (2020). Розробка алгоритму оцінки нейродинамічних властивостей спортсменів-кікбоксерів. *ЄДИНОБОРСТВА*. №3 (17). С. 36-48. DOI:10.15391/ed.2020-3.04
5. Коваленко Є. (2023). Специфіка стильової саморегуляції поведінки у військовослужбовців. *Вісник Львівського університету. Серія психологічні науки*. №15. С. 52–58.
6. Кокун О.М., Клочков В.В., Мороз В.М., Пішко І.О., Лозінська Н.С. (2022). *Забезпечення психологічної стійкості військовослужбовців в умовах бойових дій. Метод. посіб.* Київ-Одеса: Фенікс. 250 с.
7. Вінтоняк В.Ф., Капуста Я.В., Зміївська М.І. (2024). Психологічні механізми саморегуляції психічних станів під час підготовки жінок-військовослужбовців до бою. *Вісник Національного університету оборони України*. № 2. С. 47-57 DOI: 10.33099/2617-6858–24–78–2–47-58
8. Перція Л.В. (2024). Психологічні особливості формування професійного здоров'я фахівців ІТ компаній. *Вісник Національного університету оборони України*. №1 (77). С. 142-151. DOI: 10.33099/2617-6858–24–77–1–142-151.
9. Kyva V.Yu., Yahupov V.V. (2019). Pedagogical modelling of development of information and communication competence of professors of distance learning military education system. *Applied Researches in Technics, Technologies and Education: Journal of the Faculty of Technics and Technologies*. № 7(3). P. 224–232.
10. Ягупов В. (2023). Модель формування фізичної готовності майбутніх офіцерів сухопутних військ до військово-професійної діяльності в процесі військово-професійної підготовки. *Військова освіта*. №2(48). С. 331-342
11. Голуб С.В. (2007). Принцип проектування багаторівневих технологій інформаційного моделювання. *Вісник інженерної академії України*. № 1. С. 28-34.
12. Івахненко А.Г. (1981). *Індуктивний метод самоорганізації моделей складних систем*. К: Наукова думка. 296 с.
13. Артеменко Б.О. (2021). *Вікові особливості формування психофізіологічних властивостей і фізичного розвитку спортсменів: дис. канд. біологічних наук: 00.03.13*. Черкаси. 172 с.
14. Лизогуб В.С., Пустовалов В.О., Супрунович В.О., Гречуха С.В. (2017). Сучасні підходи до реалізації відбору футболістів високої кваліфікації за показниками нейродинамічних властивостей вищих відділів центральної нервової системи. *Слобожанський науково-спортивний вісник*. № 2. С. 81-85. doi.org/10.15391/sns.v.2017-2.008.
15. Лизогуб В. С., Хоменко С.М., Безкопильний О.П. (2019). *Нейродинамічні властивості людини та методика їх дослідження (Монографія)*. Черкаси: ФОП Гордієнко Є.І. 136 с.
16. Артеменко Б.О., Глазирін І.Д. (2013). Методика контролю та удосконалення тактичного мислення волейболістів. *Теорія та методика фізичного виховання*. №3. С. 42-47. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/TMFV\\_2013\\_3\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/TMFV_2013_3_7).
17. Хоменко С.М. (2007). *Аналіз розподілу даних за допомогою Excel. Навчально-методичний посібник*. Черкаси., п.п. Гордієнко Є.І., 99 с.
18. Хоменко С. М. (2023). *Статистичні методи в природничих науках (2-ге вид.)*. Черкаси: ЧНУ ім. Б. Хмельницького. 113 с.

#### References

1. Artemenko B.O., Khomenko S.M., Kozhemyako T.V., Ilyukha L.M. (2023). The relationship between energy metabolism of volleyball players of different ages and the effectiveness of game activity. *Visnyk Cherkaskoho universytetu. Seriiia Biolohichni nauky (Bulletin of Cherkasy University. Series Biological Sciences)*. №1. Pp. 19-26.
2. Makarenko M.V. Fundamentals of professional selection of military specialists and methods of studying individual psychophysiological differences between people. K: Instytut fiziologii im. O. O. Bohomoltsia NAN Ukrainy (Institute of Physiology named after O. O. Bogomolets NAS of Ukraine). 395 p.
3. Degtyarenko T.V. (2018). Ontology of determining the basic properties of the human nervous system in the concept of developing the problem of individuality. *Ukrainskyi zhurnal medytsyny, biolohii ta sportu. (Ukrainian Journal of Medicine, Biology and Sports)*. Vol.3. №5. P. 266–274.
4. Korobeynikov G.V., Tropin Yu.M., Volsky D.S., Zhirnov O.V., Korobeynikova L.G., Chernozub A.A. (2020). Development of an algorithm for assessing the neurodynamic properties of kickboxing athletes. *YeDYNOBORSTVA (Martial arts)*. Vol.3. №17. P. 36-48. DOI:10.15391/ed.2020-3.04
5. Kovalenko E. (2023). Specificity of style self-regulation of behavior in military personnel. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia psykholohichni nauky. (Bulletin of Lviv University. Psychological Sciences Series)*. №15. P. 52–58.
6. Kokun O.M., Klochkov V.V., Moroz V.M., Pishko I.O., Lozinska N.S. (2022). Ensuring the psychological stability of military personnel in combat conditions. *Methodological manual*. Kyiv-Odessa: Feniks. (Phoenix). 250 p.
7. Vintonyak V.F., Kapusta Ya.V., Zmiyovska M.I. (2024). Psychological mechanisms of self-regulation of mental states during the preparation of female military personnel for combat. *Visnyk Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy. (Bulletin of the National Defense University of Ukraine)*. №.2. P. 47-57. DOI: 10.33099/2617-6858–24–78–2–47-58

8. Pertsia L.V. (2024). Psychological features of the formation of professional health of IT company specialists. *Visnyk Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy*. (Bulletin of the National Defense University of Ukraine). №. 1 (77). P. 142-151. DOI: 10.33099/2617-6858-24-77-1-142-151.
9. Kyva V.Yu., Yahupov V.V. (2019). Pedagogical modelling of development of information and communication competence of professors of distance learnin military education system. *Applied Researches in Technics, Technologies and Education: Journal of the Faculty of Technics and Technologies*. (Applied Researches in Technics, Technologies and Education: Journal of the Faculty of Technics and Technologies). № 7(3). P. 224–232.
10. Yagupov V. (2023). Model of formation of physical readiness of future officers of the ground forces for military-professional activity in the process of military-professional training. *Viiskova osvita*. (Military Education). №.2 (48). P. 331-342
11. Golub S.V. (2007). The principle of designing multilevel information modeling technologies. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy*. (Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine). №.1. Pp. 28-34.
12. Ivakhnenko A.H. (1981). Inductive method of self-organization of models of complex systems. K: Naukova dumka. (Scientific opinion). 296 p.
13. Artemenko B.O. (2021). Age features of formation of psychophysiological properties and physical development of athletes: dis. for science. stup. Cand. of Biological Sciences. Cherkasy, 172 p.
14. Lyzogub V.S., Pustovalov V.O., Suprunovich V.O., Grechukha S.V. (2017). Modern approaches to the selection of highly qualified football players based on indicators of neurodynamic properties of the higher divisions of the central nervous system. *Slobozhanskyi naukovo-sportyvnyi visnyk*. (Slobozhanskyi naukovo-sportivnyi visnyk). №2. P. 81-85. doi.org/10.15391/snsv.2017-2.008.
15. Lyzohub, V. S., Khomenko, S.M., Bezcopylnyi, O.P. (2019). Neurodynamic properties of humans and methods for their study (Monograph). Cherkasy: Sole proprietor Gordienko E.I. 136 p.
16. Artemenko B.O., Glazyrin, I.D. (2013). Methodology for controlling and improving tactical thinking of volleyball players. *Teoriia ta metodyka fizychnoho vykhovannia*. (Theory and methods of physical education). №3. Pp. 42-47. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/TMFV\\_2013\\_3\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/TMFV_2013_3_7).
17. Khomenko S.M. (2007). Analysis of data distribution using Excel. Educational and methodical manual. Cherkasy. Sole proprietor Gordienko E.I., 99 p.
18. Khomenko S.M. Statistical Methods in Natural Sciences (2nd edition). Cherkasy: Cherkasy: B. Khmelnytskyi National University. 113 p.

**Artemenko B. O., Khomenko S. M., Pustovalov V. O., Kozhemyako T. V.**

# **ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF INDIVIDUAL -TYPOLOGICAL PROPERTIES OF THE NERVOUS SYSTEM ON THE FORMATION OF SPECIAL GAME THINKING IN VOLLEYBALL PLAYERS OF DIFFERENT AGES BY THE METHOD OF GROUP CONSIDERATION OF ARGUMENTS MENTORS**

**Introduction.** *It is known that in sports, methods of mathematical statistics and analysis of research results are widely used, however, they are mainly focused on processing the results by traditional statistical methods. While to identify the influence of individual-typological properties of the nervous system, namely: functional mobility, balance of nervous processes on the process of forming special game thinking of volleyball players of different ages, the question of using the method of group consideration of arguments is interesting. The use of such a method of mathematical statistics could allow modeling and predicting the prospects for improving both individual properties of the nervous system and other specific psychophysiological characteristics of players in the process of long and systematic volleyball training.*

**Goal.** *To define the influence of individual typological characteristics of the nervous system, psychological functions, coordination abilities, and active motor activity on the game thinking of volleyball players of different ages.*

**Methods.** *Systematization and generalization of modern scientific literature, the method of group consideration of arguments (MGCA), research: typological neurodynamic properties of the nervous system on the software complex "Diagnost-1M", types of thinking and other psychophysiological properties (memory, perception of space and time) using the computer program "Intest", the ability to control speed force and differentiation of muscle effort, spatio-temporal regulation of movements - were determined using motor tests, the game thinking of volleyball players was diagnosed using the author's computer program, and mathematical statistics methods were also used.*

**Results.** According to the results of modeling using the method of group consideration of arguments, a connection between psychophysiological properties, game thinking and individual typological properties of the nervous system in volleyball players of different ages was established. Data analysis showed that with age, as a result of systematic volleyball training, a high level of psychophysiological properties of operational thinking, properties of speed-force control and differentiation of muscle effort, spatiotemporal regulation of movements, orientation in space and time, and typological properties of the nervous system: FRNP, VNP, which has a positive effect on the formation of special game thinking of players.

**Originality.** It is believed that the use of modern methods of mathematical modeling in the process of physical training contributes to an increase in the level of development of the body's functional capabilities at different age periods.

**Conclusion.** The results demonstrate the prospects and ways of applying the method of mathematical modeling, namely MGUA in sports with the aim of a deeper understanding of the process of forming special game thinking of players and increasing the efficiency of the process of training volleyball players in different age periods.

**Keywords:** functional mobility of nervous processes, balance of nervous processes, musculoskeletal system, nervous regulation, mathematical statistics, mathematical modelling, group argument consideration method, coordination properties, psychophysiological functions.

Надійшла до редакції / Received: 08.11.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.12.2025

## ВПЛИВ АДАПТИВНИХ ГОРМОНІВ НА СТАН КЛІТИН ПАНЕТА ТВАРИН З АЛОКСАНОВИМ ДІАБЕТОМ

*Актуальність роботи* полягає в проведенні цитохімічних досліджень клітин Панета тонкого кишечника тварин в умовах моделювання та корекції цукрового діабету, що сприяє розумінню патогенетичних механізмів і пошуку шляхів профілактики та лікування цього захворювання. *Метою дослідження* було вивчення змін вмісту цинку та секреторного матеріалу в клітинах Панета тварин з алоксановим діабетом після введення адреналіну та преднізолону окремо та в поєднанні з інсуліном. Матеріалом досліджень слугували зрізи тонкої кишки білих безпородних мишей і щурів, яким робили ін'єкції діабетогенного агента та адаптивних гормонів. *Наукова новизна* роботи полягає у використанні для проведення досліджень цитохімічних *методів*: модифікованої реакції флоксину на секреторний матеріал і розробленої реакції 8-(п-толуолсульфоніламіно)-хіноліну на цинк у панетовських клітинах. *Висновки*. Було встановлено, що в клітинах Панета тварин після ін'єкції діабетогенного агента алоксану розвивався виражений дефіцит цинку та секреторного матеріалу. Призначення інсуліну, адреналіну та преднізолону тваринам з діабетом викликало в досліджених клітинах часткову корекцію цинкової та секреторної недостатності. Більш виражений корегуючий ефект спостерігався у клітинах Панета тварин з алоксановим діабетом у випадку сполученої дії адаптивних гормонів. Достовірна позитивна кореляція змін у досліджених клітинах кількості металу та секрету вказує на функціональний зв'язок між ними.

**Ключові слова:** адреналін, інсулін, преднізолон, секреторний матеріал, цинк.

**Постановка проблеми.** Цукровий діабет (ЦД) є хронічним неінфекційним захворюванням, до основних симптомів якого належить хронічна гіперглікемія, що виникає внаслідок дефектів секреції та дії інсуліну [1, 2]. У всьому світі діабет вважають провідною глобальною проблемою охорони здоров'я. Для лікування діабету в розвинених країнах використовується близько 10% їхнього бюджету на охорону здоров'я. За прогнозами фахівців до 2040 року кількість хворих на ЦД може становити 642 мільйони осіб. Дослідження контролю та лікування діабету є актуальними, враховуючи серйозність загрози для здоров'я людини та суспільний економічний тягар [3–5]. Для розробки нових та ефективних засобів лікування ЦД важливими є дослідження на тваринних моделях патогенетичних механізмів розвитку цієї хвороби [6–8].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для хімічної індукції ЦД традиційно використовується алоксан (5,5-дигідроксипіримідин-2,4,6-тріон), який належить до органічних сполук та являє собою цитотоксичний аналог глюкози. Алоксан характеризується коротким періодом напіврозпаду, протягом кількох хвилин у водному розчині він спонтанно розкладається на недіабетогенну алоксанову кислоту. Це є причиною його швидко поглинання та накопичення в панкреатичній  $\beta$ -клітині. У випадку переривання кровотоку до підшлункової залози впродовж перших декількох хвилин після ін'єкції алоксану його дія стає неефективною [6, 8, 9].

Цей діабетогенний агент має два патогенетичних механізми. Перший механізм пов'язаний з широким стримуванням глюкокінази, панкреатичного глюкозного сенсора  $\beta$ -клітин панкреатичних островців, внаслідок чого фермент специфічно пригнічує виділення

інсуліну, індуковане глюкозою. Зменшення окислення глюкози та утворення АТФ відбувається внаслідок інгібування глюкокінази, що в свою чергу пригнічує сигнал АТФ для запуску інсулінової секреції. Після впливу алоксану інгібування глюкокінази розвивається впродовж 1 хвилини [6, 9, 10].

В основі другого механізму лежить індуція утворення активних форм кисню, що генерує супероксидні радикали, створюючи окисно-відновний цикл, та призводить до вибіркового некрозу інсулінпродукуючих клітин і розвитку інсулінозалежного діабету. Відбувається відновлення алоксану до діалуричного оксиду, а потім повторне його окислення до попередньої речовини з утворенням супероксидних радикалів, на які діє супероксиддисмутаза, утворюючи пероксид водню. Гідроксильні радикали також можуть утворюватися внаслідок побічних реакцій. До розвитку апоптозу може призвести фрагментація ДНК  $\beta$ -клітин, спричинена дією високоактивних форм кисню. Не зважаючи на те, що поглинання алоксану відбувається в печінці, гепатотоксичність є недійсною або незначною, тому що цьому органу властиві кращі антиоксидантні механізми у порівнянні з  $\beta$ -клітинами. Крім того, у цих захисних механізмів налічується декілька ефектів біотрансформації та елімінації ксенобіотиків. Пошкодження клітин алоксаном відбувається внаслідок порушення гомеостазу кальцію в клітинах і підсилення основного окислення, тобто SH-класів [11–13].

Вік, стать, стан нервової та ендокринної систем, таких органів, як печінка, нирки та деяких інших, а також характер обміну речовин, харчування, вміст у тканинах SH-груп та ін. у тварин одного й того самого виду обумовлюють індивідуальну чутливість до алоксану, що варіює в дуже широких межах [7–9].

**Визначення невирішених раніше частин загальної проблеми.** ЦД належить до групи метаболічних захворювань, при яких порушуються всі види обміну речовин, включно з мікроелементним [1, 2]. Було встановлено, що на тлі інсулінової недостатності у тварин з алоксановим діабетом розвивається дефіцит цинку в панкреатичних острівцях [14, 15]. Відомо, що в секреторних гранулах  $\beta$ -клітин панкреатичних острівців міститься цинк. Згідно з існуючим припущенням іони цинку знаходяться в комплексі з конденсованими молекулами інсуліну, утворюючи гексамерні структури [16–19].

Клітини Панета тонкого кишечника подібного до інсулінпродукуючих клітин панкреатичних острівців містять іони цинку в секреторних гранулах. Вірогідно, що в панетовських клітинах цей метал також бере участь в утворенні комплексу з секреторним матеріалом і його депонуванні [19, 20]. Це дає підстави вважати, що не тільки кількість секрету в панетівських клітинах, але й зв'язаного з ним металу, є показником їх функціонального стану. Враховуючи викладене вище, представляють інтерес дослідження вмісту цинку та секреторного матеріалу в клітинах Панета тварин при моделюванні ЦД і його корекції шляхом введення адаптивних гормонів. Недосконалий характер існуючих методів цитохімічного виявлення металу та секрету в клітинах Панета завадив проведенню таких досліджень раніш. Вирішення цієї проблеми стало можливим після розробки на базі кафедри фізіології, імунології і біохімії з курсом цивільного захисту та медицини біологічного факультету Запорізького національного університету реакції 8-(п-толуолсульфоніламіно)-хіноліну (8-ТСХ) і модифікації флоксинової реакції у цих клітинах тонкої кишки.

**Метою дослідження** було вивчення змін вмісту цинку та секреторного матеріалу в клітинах Панета тварин з алоксановим діабетом після введення адреналіну та преднізолону окремо та в поєднанні з інсуліном.

**Матеріали та методи дослідження.** Досліди проводилися на білих безпородних мишах і щурах віком 6 місяців. Контролем у всіх експериментах слугували інтактні тварини, тому що статистично між собою не відрізнялися результати, отримані після дослідження контрольної групи тварин (тварини, яким вводили фізіологічний розчин) та інтактною групи (тварини без втручання). При проведенні досліджень на лабораторних тварин дотримувалися вимог ст. 26

Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження», «Європейської конвенції про захист хребетних тварин» (Страсбург, 1986) і принципів біоетики.

Діабет у тварин викликали шляхом підшкірного введення алоксану дозою 400 мг/кг. В окремій серії експериментів тваринам з алоксановим діабетом вводили внутрішньом'язово преднізолон у дозі 10 мг/кг, підшкірно – адреналіну гідрохлорид у дозі 0,05 мг/кг, а також інсулін у дозі 20 ОД/кг ваги тіла (мишам вводили гормон, розведений у 20 разів, щурам – у 2 рази). Через добу після введення алоксану робили першу ін'єкцію речовин, а наступні – впродовж 4 діб. У тварин методом декапітації вилучали шматочки тонкої кишки через 5 діб після введення діабетогенної речовини, 5 діб та ще 2 год пізніше – алоксану та адаптивних гормонів.

Шматочки тонкої кишки для цитохімічного визначення цинку фіксували в холодному (+4 °C) ацетоні, а потім доводили до парафіну та заливали в нього. Двома ксилолами та спиртами обробляли парафінові зрізи завтовшки 10 мкм 0,01% ацетоновий розчин 8-ТСХ використовували для забарвлення депарафінованих зрізів. Потім проводили їх промивку в дистильованій воді, замикаючи в гліцерин та вивчення під люмінесцентним мікроскопом з використанням фіолетового (ФС-1) та жовтого (ЖС-18) світлофільтрів. На препаратах у клітинах Панета виявлялася жовто-зелена люмінесценція, що є показником вмісту цинку в клітинах.

Для цитохімічного визначення секреторного матеріалу шматочки тонкої кишки фіксували в формаліні протягом 24 год, потім зневоднювали, обробляли ксилолами, сумішшю ксилолу та парафіну, витримували в рідких парафінах та заливали в парафін. Парафінові зрізи 5-10 мкм завтовшки обробляли ксилолами, спиртами, промивали дистильованою водою та забарвлювали 0,5% розчином флоксину. Після забарвлення зрізи промивали дистильованою водою та замикали в гліцерин-желатин. На препаратах у цитоплазмі клітин Панета тонкої кишки визначали червоні гранули. Кількість цих гранул – показник вмісту в клітинах секреторного матеріалу.

Використовуючи трибальну систему, оцінювали інтенсивність цитохімічної реакції флоксину. За один бал приймали слабопозитивну реакцію, два бали – помірну, три бали – виражену за інтенсивністю реакцію. Інтенсивність цитохімічної реакції 8-ТСХ визначали за допомогою мікрофлуориметра. Вміст цинку оцінювали в мкг/г. Одержані результати статистично були опрацьовані за t-критерієм Стьюдента за допомогою програми Statistica, 6.0. Коефіцієнт кореляції Пірсона (r) обчислювали для оцінки ступеня зв'язку між змінами досліджених показників.

**Результати та їх обговорення.** У таблицю 1 зведені результати досліджень вмісту цинку та секреторного матеріалу в панетовських клітинах мишей з алоксановим діабетом, яким вводили адаптивні гормони.

З таблиці видно, що ін'єкція алоксану викликала високодостовірне зменшення в клітинах Панета мишей вмісту цинку – на 49%, секреторного матеріалу – 42%, кількості гранул 8-ТСХ – 29%, флоксинофільних гранул – 27 %.

У випадку призначення інсуліну мишам з діабетом нижче контролю були рівень цинку на 29%, секреторного матеріалу – на 25% ( $p < 0,01$ ), а також кількість гранул, що їх містять, – на 17% ( $p < 0,01$ ) і 16% ( $p < 0,05$ ). Порівняно з діабетичними тваринами ці показники зростали відповідно на 38% ( $p < 0,01$ ), 29, 16 і 15% ( $p < 0,05$ ).

Вміст внутрішньоклітинних цинку та секрету був нижче контролю на 24% ( $p < 0,05$ ) і 17% ( $p > 0,05$ ), а кількість гранул 8-ТСХ і флоксинофільних гранул – на 12 і 11% ( $p < 0,05$ ) у тварин, яким на тлі діабету вводили преднізолон. Відносно діабетичних мишей ці показники зростали на 48 і 43% ( $p < 0,01$ ), 24% і 23% ( $p < 0,01$ ).

У мишей з алоксановим діабетом у присутності інсуліну та адреналіну порівняно з контролем був нижче вміст цинку на 7%, секреторного матеріалу – на 8%, а кількість гранул, які їх містять, скорочувалась на 4 і 5% ( $p > 0,05$ ). У порівнянні з діабетичними тваринами отримані показники були вище на 81% ( $p < 0,001$ ), 57% ( $p < 0,01$ ), 35% ( $p < 0,001$ ) і 30% ( $p < 0,01$ ).



Таблиця 1

Вміст цинку та секреторного матеріалу ( $M \pm m$ ) та їх взаємозв'язок ( $r$ ) у клітинах Панета мишей при введенні алоксану, адреналіну, преднізолону та інсуліну

| Група тварин                       | Вміст цинку, мкг/г | Вміст секреторного матеріалу, ум.од. | Кількість гранул |           | $r_1$ | $r_2$   |
|------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|------------------|-----------|-------|---------|
|                                    |                    |                                      | 8-ТСХ            | флоксину  |       |         |
| Контроль (n=14)                    | 41±2,9             | 1,2±0,08                             | 52±2,4           | 55±2,6    | 0,48* | 0,91*** |
| Алоксан (n=10)                     | 21±1,7***          | 0,7±0,05***                          | 37±1,6***        | 40±1,9*** | 0,53* | 0,82*** |
| Алоксан+інсулін (n=10)             | 29±2,1** ##        | 0,9±0,06** #                         | 43±2,0** #       | 46±2,1* # | 0,46* | 0,82*** |
| Алоксан+адреналін (n=10)           | 32±2,6* ##         | 1,0±0,07##                           | 47±3,1#          | 50±2,4##  | 0,44* | 0,85*** |
| Алоксан+преднізолон (n=10)         | 31±2,5* ##         | 1,0±0,09##                           | 46±2,2##         | 49±2,3##  | 0,44* | 0,86*** |
| Алоксан+інсулін+адреналін (n=10)   | 38±3,4###          | 1,1±0,10##                           | 50±2,7###        | 52±3,0##  | 0,42* | 0,90*** |
| Алоксан+інсулін+преднізолон (n=10) | 38±4,1###          | 1,1±0,12##                           | 49±2,3###        | 51±3,3 ## | 0,46* | 0,92*** |

Примітка: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$  порівняно з контролем; # –  $p < 0,05$ ; ## –  $p < 0,01$ ; ### –  $p < 0,001$  порівняно з алоксаном;  $r_1$  – коефіцієнт кореляції змін у клітинах Панета вмісту цинку та секреторного матеріалу, визначеного за допомогою цитохімічних реакцій;  $r_2$  – коефіцієнт кореляції змін кількості гранул 8-ТСХ і флоксифільних гранул у клітинах Панета.

Після сполученого впливу інсуліну та преднізолону на мишей з діабетом у панетовських клітинах зменшувався рівень металу на 7%, секрету – 8%, кількість гранул 8-ТСХ – 6%, флоксифільних гранул – 7% ( $p > 0,05$ ) відносно контрольних величин. Зростання показників на 81% ( $p < 0,001$ ), 57% ( $p < 0,01$ ), 32% ( $p < 0,001$ ) і 28% ( $p < 0,01$ ) встановлено відносно діабетичних тварин.

У мишей з алоксановим діабетом, яким вводили адаптивні гормони, спостерігалась позитивна кореляція змін вмісту цинку та секреторного матеріалу в клітинах Панета.

Подібні зміни вмісту цинку та секреторного матеріалу в панетовських клітинах встановлені в дослідях на діабетичних щурах після введення інсуліну, адреналіну та преднізолону (табл. 2).

Отримані дані свідчать про те, що в клітинах Панета щурів з алоксановим діабетом високодостовірно зменшувався вміст цинку на 55%, секреторного матеріалу – 47%, кількість гранул 8-ТСХ – на 29%, флоксифільних гранул – на 26%.

У випадку призначення інсуліну щурам з діабетом був нижче контролю рівень цинку на 32% ( $p < 0,001$ ), секреторного матеріалу – на 24% ( $p < 0,05$ ), кількість гранул, що їх містять, – на 18% ( $p < 0,01$ ) і 26% ( $p < 0,05$ ). Порівняно з діабетичними тваринами ці показники зростали відповідно на 54 і 44% ( $p < 0,001$ ), 15 і 14% ( $p < 0,05$ ).

Таблиця 2

Вміст цинку та секреторного матеріалу ( $M \pm m$ ) та їх взаємозв'язок ( $r$ ) у клітинах Панета щурів при введенні алоксану, адреналіну, преднізолону та інсуліну

| Група тварин                       | Вміст цинку, мкг/г | Вміст секреторного матеріалу, ум.од. | Кількість гранул |           | $r_1$ | $r_2$   |
|------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|------------------|-----------|-------|---------|
|                                    |                    |                                      | 8-ТСХ            | флоксину  |       |         |
| Контроль (n=16)                    | 92±5,9             | 1,7±0,12                             | 55±2,5           | 57±3,1    | 0,47* | 0,92*** |
| Алоксан (n=10)                     | 41±2,5***          | 0,9±0,05***                          | 39±1,8***        | 42±2,1*** | 0,49* | 0,87*** |
| Алоксан+інсулін (n=10)             | 63±4,6*** ###      | 1,3±0,09* ###                        | 45±2,0** #       | 48±1,9* # | 0,43* | 0,46*   |
| Алоксан+адреналін (n=10)           | 70±5,4* ###        | 1,4±0,10###                          | 51±2,2###        | 51±2,6##  | 0,42* | 0,91*** |
| Алоксан+преднізолон (n=10)         | 69±5,8* ###        | 1,4±0,12###                          | 50±2,7##         | 51±2,3##  | 0,44* | 0,95*** |
| Алоксан+інсулін+адреналін (n=10)   | 90±6,4###          | 1,6±0,14###                          | 53±2,9###        | 54±2,8### | 0,45* | 0,93*** |
| Алоксан+інсулін+преднізолон (n=10) | 85±5,7###          | 1,5±0,13###                          | 52±2,6###        | 53±2,7##  | 0,42* | 0,92*** |

Примітка: позначення, як у табл. 1.

Після введення адреналіну вміст цинку та секрету в панетовських клітинах щурів з алоксановим діабетом був нижче контролю на 24% ( $p < 0,05$ ) і 18% ( $p > 0,05$ ) відповідно, а кількість 8-ТСХ і флоксифільних гранул на 8 і 11% ( $p > 0,05$ ). У порівнянні з діабетичними тваринами отримані цифри були вище на 71 і 56% ( $p < 0,001$ ), 31% ( $p < 0,001$ ) і 21% ( $p < 0,01$ ).

На тлі діабету в тварин, яким вводили преднізолон, вміст внутрішньоклітинних компонентів був нижче контролю на 25% ( $p < 0,05$ ) і 18% ( $p > 0,05$ ), а кількість 8-ТСХ і флоксифільних гранул на 9 і 11% ( $p > 0,05$ ). Відносно діабетичних щурів ці показники зростали на 68 і 56% ( $p < 0,001$ ), 28 і 21% ( $p < 0,01$ ).

У щурів з алоксановим діабетом у присутності інсуліну та адреналіну порівняно з контролем був нижче вміст цинку на 3%, секреторного матеріалу – на 6%, а кількість гранул, які їх містять, скорочувалась на 4 і 5% ( $p > 0,05$ ). У порівнянні з діабетичними тваринами отримані показники були вище на 120 і 78% ( $p < 0,001$ ), 36 і 29% ( $p < 0,01$ ).

Після сполученого впливу інсуліну та адреналіну на щурів з діабетом у панетовських клітинах зменшувався рівень металу на 8%, секрету – на 12%, кількість гранул 8-ТСХ – на 5%, флоксифільних гранул – на 7% ( $p > 0,05$ ) відносно контрольних величин. Зростання показників на 107 і 67% ( $p < 0,001$ ), 33% ( $p < 0,001$ ) і 26% ( $p < 0,01$ ).

Позитивні коефіцієнти кореляції змін вмісту цинку та секреторного матеріалу в клітинах Панета піддослідних щурів свідчать про наявність між цими компонентами функціонального зв'язку.

Таким чином, у тварин з алоксановим діабетом погіршується функціональна активність клітин Панета, про що свідчить розвиток цинкової і секреторної недостатності внаслідок виснаження депо цих компонентів у клітинах. Склад секреторного матеріалу багатокомпонентний, до нього зокрема входять лізосомальні ферменти, лізоцим і дефензини – низькомолекулярні пептиди, які здібні знищувати різноманітні патогени [21, 22]. Інші автори в своїх дослідженнях спостерігали у діабетичних мишей ранній початок тяжкого дисбактеріозу кишечника, що характеризується розмноженням прозапальних протеобактерій та пізнішим колапсом антимікробного захисту клітин Панета. У тварин, що в якості діабетогенного агента отримували антагоніст інсулінових рецепторів (S961), були значні дефекти епітеліальних функцій кишкового бар'єра, такі як підвищена епітеліальна парацелюлярна проникність та порушення цілісності клітинно-клітинних з'єднань [23]. Liu L. та ін. також з'ясовували роль клітин Панета в пошкодженні тонкого кишечника під час гострого некротичного панкреатиту (ГНП) з використанням моделей щурів, створених шляхом ін'єкції дитизону, хелатора металу цинку, здатного вибірково руйнувати клітини Панета. Вчені зазначали, що збільшення стресу кишкового ендоплазматичного ретикулу, що оцінювалося за високими рівнями експресії білка зв'язуючого імуноглобуліну та активуючого фактора транскрипції  $\beta$ , може бути одним із механізмів, пов'язаним із втратою клітин Панета та порушенням кишкового бар'єру під час ГНП. Це дослідження показало, що відсутність клітин Панета може бути важливим фактором, що бере участь у пошкодженні кишечника, сприяючи прогресуванню ГНП [24].

За результатами наших досліджень уведення інсуліну, адреналіну та преднізолону тваринам з алоксановим діабетом зменшувало дефіцит цинку та секреторного матеріалу в панетовських клітинах, таким чином покращуючи функціональний стан останніх. Потенційований ефект спостерігався у випадку сполученої дії інсуліну та гормонів надниркових залоз. В іншій роботі також підкреслено, що інсуліновий сигналінг є незамінним охоронцем цілісності кишкового бар'єру, що діє як захист від мікробного дисбалансу та гострих інфекцій, спричинених ентеропатогенами [23].

### Висновки.

1. Уведення діабетогенного агенту мишам і щурам призводило до розвитку в клітинах Панета дефіциту цинку в межах 27-55% та секреторного матеріалу – 26-47% ( $p < 0,001$ ), що вказує на пригнічення функціонального стану цих клітин.

2. Часткова корекція цинкової і секреторної недостатності в панетовських клітинах спостерігалася у випадку призначення тваринам з алоксановим діабетом інсуліну, адреналіну та преднізолону: показники вмісту внутрішньоклітинних металу та секрету були менше порівняно з контролем на 8% ( $p > 0,05$ ) – 32% ( $p < 0,001$ ) і 11% ( $p > 0,05$ ) – 26% ( $p < 0,05$ ), але більше відносно діабетичних тварин відповідно на 15% ( $p < 0,05$ ) – 71% ( $p < 0,001$ ) і 14% ( $p < 0,05$ ) – 56% ( $p < 0,001$ ).

3. Сполучена дія адаптивних гормонів викликала у клітинах Панета тварин з алоксановим діабетом більш виражений корегуючий ефект щодо дефіциту цинку та секреторного матеріалу, при цьому отримані цифри суттєво не відрізнялися від контролю, а в порівнянні з діабетичними тваринами були вище відповідно на 32-107% ( $p < 0,001$ ) і 26% ( $p < 0,01$ ) – 67% ( $p < 0,001$ ).

**Перспективи подальших досліджень.** Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення впливу адаптивних гормонів на стан клітин Панета адреналектомованих тварин.

### Список використаних джерел

1. Тронько М. Д., Большова О. В., Соколова Л. К. Цукровий діабет 1-го типу: етіологія, патогенез, клініка, діагностика та лікування. *Практикуючий лікар*. 2021. 10(3). С. 26–35.
2. Сіренко Г. О., Складанюк М. Б., Мартинюк М. І. [та ін.]. Теоретичні основи цукрового діабету. *Вісник Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. Серія Хімія*. 2019. Вип. XXIII. С. 4–70.
3. Гурський А. Й., Каськів М. В. Екологічні та соціальні проблеми як наслідок розвитку ендокринної патології. *Бюлетень Національного університету водного господарства та природокористування*. 2021. 95(3). С. 47–57. <https://doi.org/10.31713/vs320214>

4. El-Kebbi I. M., Bidikian N. H., Hneiny L., Nasrallah M. P. Epidemiology of type 2 diabetes in the Middle East and North Africa: challenges and call for action. *World J. Diabetes*. 2021. 12(9). P. 1401–1425. doi: 10.4239/wjd.v12.i9.1401.
5. Cho Y., Yoon K. H. Being caught in the perfect storm of a diabetes epidemic and the COVID-19 pandemic: what should we do for our patients? *J. Diabetes Investig*. 2021. 12(3). P. 297–300. doi: 10.1111/jdi.13425.
6. Kottaisamy C. P. D, Raj D. S., Prasanth Kumar V., Sankaran U. Experimental animal models for diabetes and its related complications – a review. *Lab Anim Res*. 2021. 37(1). P. 1–14. doi: 10.1186/s42826-021-00101-4.
7. Coppola A., Zorzetto G., Piacentino F. [et al]. Imaging in experimental models of diabetes. *Acta Diabetol*. 2022. 59(2). P. 147–161. doi: 10.1007/s00592-021-01826-3.
8. Yagihashi S. J. Contribution of animal models to diabetes research: its history, significance, and translation to humans. *Diabetes Investig*. 2023. 14(9). P. 1015–1037. doi: 10.1111/jdi.14034.
9. Algul S., Ozcelik O. Comprehensive review of animal models in diabetes research using chemical agents. *Lab Anim*. 2025. 59(3). P. 356–363. doi: 10.1177/00236772241296199.
10. Mauvais F. X., van Endert P. M. Type 1 diabetes: a guide to autoimmune mechanisms for clinicians. *Diabetes Obes. Metab*. 2025. Suppl 6. P. 40–56. doi: 10.1111/dom.16460
11. Drikvandi P., Bahramikia S., Alirezai M. Modulation of the antioxidant defense system in liver, kidney, and pancreas tissues of alloxan-induced diabetic rats by camphor. *J. Food Biochem*. 2020. 44(12): e13527. doi: 10.1111/jfbc.13527.
12. Salazar-García M., Corona J. C. The use of natural compounds as a strategy to counteract oxidative stress in animal models of diabetes mellitus. *Int. J. Mol. Sci*. 2021. 22(13): 7009. doi: 10.3390/ijms22137009.
13. Madhariya R., Dixena B., Ram A. [et al]. Experimental animal models: tools to investigate antidiabetic activity. *Curr. Pharm. Des*. 2023. 29(2). P. 79–94. doi: 10.2174/1381612829666221220115649.
14. Карпов А. К., Григорова Н. В., Єщенко В. А. Пошкоджуюча дія алоксану, дитизону і стрептозотину на інсулярний апарат золотистих і китайських хом'ячків. *Вісник Запорізького національного університету: Біологічні науки*. 2012. № 1. С. 83–88.
15. Григорова Н. В. Внутрішньосекреторна функція підшлункової залози в нормі та при патології. *Запоріжжя : Запорізький національний університет*, 2014. 304 с.
16. Григорова Н. В., Єщенко В. А. Роль цинку в нейрогуморальних механізмах регуляції функції інсулярного апарату. *Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія*. 2013. 61(1). С. 79–84.
17. Зайченко Г. В., Горчакова Н. О., Шумейко О. В. [та ін.]. Фармакологічні властивості препаратів цинку. *Український журнал медицини, біології та спорту*. 2021. № 3 (6). С. 37–44.
18. Акімов О. Є., Кузнецова Т. Ю., Соловйова Н. В. [та ін.]. Роль цинку в організмі людини та шляхи подолання його дефіциту. *Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник Української медичної стоматологічної академії*. 2023. 23 (3). С. 246–249.
19. Kiouri D. P., Tsoupra E., Peana M. [et al]. Multifunctional role of zinc in human health: an update. *EXCLI J*. 2023. 22 (4). P. 809–827.
20. Григорова Н. В., Єщенко В. А., Кузьміна М. А. Механізми регуляції вмісту хелатованих металів у клітинах. *Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія*. 2013. 61(4). С. 7–12.
21. Cui C., Wang F., Zheng Y, [et al]. From birth to death: the hardworking life of Paneth cell in the small intestine. *Front Immunol*. 2023. 14:1122258. doi: 10.3389/fimmu.2023.1122258
22. Wallaey C., Garcia-Gonzalez N., Libert C. Paneth cells as the cornerstones of intestinal and organismal health: a primer. *EMBO Mol. Med*. 2023. 15(2): e16427. doi: 10.15252/emmm.202216427.
23. Gueddouri D., Caüzac M., Fauveau V. [et al]. Insulin resistance per se drives early and reversible dysbiosis-mediated gut barrier impairment and bactericidal dysfunction. *Mol. Metab*. 2022. 57: 101438. doi: 10.1016/j.molmet.2022.101438.
24. Liu L., Guo Y., Zheng J. [et al]. Paneth cell ablation increases the small intestinal injury during acute necrotizing pancreatitis in rats. *Mol. Med. Rep*. 2019. 20(1): 473-484. doi: 10.3892/mmr.2019.10274.

#### References

1. Tronko, M. D., Bolshova, O. V., & Sokolova, L. K. (2021). Type 1 diabetes mellitus: etiology, pathogenesis, clinical features, diagnostics and treatment. *Praktykuiuchy likar [Practitioner]*; 10(3): 26-35 (in Ukr.).
2. Sirenko, H. O., Skladaniuk, M. B., Martyniuk, M. I. [et al]. (2019). *Teoretychni osnovy tsukrovoho diabetu*. Visnyk Prykarpatskoho natsionalnoho universytetu imeni Vasylia Stefanyka. Seriya Khimiia [Bulletin of the Vasyl Stefanyk Precarpathian National University. Chemistry Series]; 23: 4-70 (in Ukr.).
3. Hurskyi, A. Y., & Kaskiv, M. V. (2021). Environmental and social problems as a consequence of the development of endocrine pathology. *Biuleten Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia [Bulletin of the National University of Water Management and Environmental Management]*; 95(3): 47-57. <https://doi.org/10.31713/vs320214> (in Ukr.).
4. El-Kebbi, I. M., Bidikian, N. H., Hneiny, L., & Nasrallah, M. P. (2021). Epidemiology of type 2 diabetes in the Middle East and North Africa: Challenges and call for action. *World J Diabetes*; 12(9): 1401-1425. doi: 10.4239/wjd.v12.i9.1401.
5. Cho, Y., & Yoon, K. H. (2021). Being caught in the perfect storm of a diabetes epidemic and the COVID-19 pandemic: what should we do for our patients? *J Diabetes Investig*; 12(3): 297-300. doi: 10.1111/jdi.13425.

6. Kottaisamy, C. P. D., Raj, D. S., Prasanth, Kumar, V., & Sankaran, U. (2021). Experimental animal models for diabetes and its related complications-a review. *Lab Anim Res*; 37(1): 23. doi: 10.1186/s42826-021-00101-4.
7. Coppola, A., Zorzetto, G., Piacentino, F. [et al]. (2022). Imaging in experimental models of diabetes. *Acta Diabetol*; 59(2): 147-161. doi: 10.1007/s00592-021-01826-3.
8. Yagihashi, S. J. (2023). Contribution of animal models to diabetes research: its history, significance, and translation to humans. *Diabetes Investig*; 14(9): 1015–1037. doi: 10.1111/jdi.14034.
9. Algul, S., & Ozcelik, O. (2025). Comprehensive review of animal models in diabetes research using chemical agents. *Lab Anim*; 59(3): 356-363. doi: 10.1177/00236772241296199.
10. Mauvais, F. X., & van Endert, P. M. (2025). Type 1 diabetes: a guide to autoimmune mechanisms for clinicians. *Diabetes Obes Metab*; 6: 40-56. doi: 10.1111/dom.16460.
11. Drikvandi, P., Bahramikia, S., & Alirezaei, M. (2020). Modulation of the antioxidant defense system in liver, kidney, and pancreas tissues of alloxan-induced diabetic rats by camphor. *J Food Biochem*; 44(12): e13527. doi: 10.1111/jfbc.13527.
12. Salazar-García, M., & Corona, J. C. (2021). The use of natural compounds as a strategy to counteract oxidative stress in animal models of diabetes mellitus. *Int J Mol Sci*; 22(13): 7009. doi: 10.3390/ijms22137009.
13. Madhariya, R., Dixena, B., Ram, A. [et al]. (2023). Experimental animal models: tools to investigate antidiabetic activity. *Curr Pharm Des*; 29(2): 79-94. doi: 10.2174/1381612829666221220115649.
14. Karpov, A. K., Hryhorova, N. V., & Eshchenko, V. A. (2012). Injuring action of alloxan, dithizone and streptozotocine on insular apparatus of golden and chinese hamsters. *Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu: Biologichni nauky. Zaporizhzhya National University [Bulletin of Zaporizhzhia National University: Biological Sciences]*; (1): 83-88.
15. Hryhorova, N. V. (2014). Endocrine function of the pancreas in normal and pathological conditions. *Zaporizhzhia: Zaporizkyi natsionalnyi universytet [Zaporizhzhia: Zaporizhzhia National University]* (in Ukr.).
16. Hryhorova, N. V., & Eshchenko, V. A. (2013). The role of zinc in neurohumoral mechanisms of regulation of insular apparatus function. *Eksperymentalna ta klinichna fiziologhiia i biokhimiia [Experimental and clinical physiology and biochemistry]*; 61(1): 79-84 (in Ukr.).
17. Zaichenko, H. V., Horchakova, N. O., Shumeiko, O. V. [et al]. (2021). Pharmacological properties of zinc preparations. *Ukrainskyi zhurnal medytsyny, biolohii ta sportu [Ukrainian Journal of Medicine, Biology and Sports]*; 6 (3): 37-44. <https://doi:10.26693/jmbs06.03.037> (in Ukr.).
18. Akimov, O. Ye., Kuznetsova, T. Yu., Soloviova, N. V. [et al]. (2023). The role of zinc in the human body and ways to overcome its deficiency. *Aktualni problemy suchasnoi medytsyny: Visnyk Ukrainskoi medychnoi stomatologichnoi akademii [Current problems of modern medicine: Bulletin of the Ukrainian Medical Stomatological Academy]*; 23(3): 246-249. <https://doi:10.31718/2077-1096.23.3.246> (in Ukr.).
19. Kiouri, D. P., Tsoupra, E., Peana, M. [et al]. (2023). Multifunctional role of zinc in human health: an update. *EXCLI J*; 22(4): 809-827. <https://doi:10.17179/excli2023-6335>.
20. Hryhorova, N. V., Eshchenko, V. A. & Kuzmina, M. A. (2013). Mechanisms of regulation of the content of chelated metals in cells. *Eksperymentalna ta klinichna fiziologhiia i biokhimiia [Experimental and clinical physiology and biochemistry]*; 61(4): 7-12 (in Ukr.).
21. Cui, C., Wang, F., Zheng, Y. [et al]. (2023). From birth to death: the hardworking life of Paneth cell in the small intestine. *Front Immunol*; 14:1122258. doi: 10.3389/fimmu.2023.1122258.
22. Wallaey, C., Garcia-Gonzalez, N., & Libert, C. (2023). Paneth cells as the cornerstones of intestinal and organismal health: a primer. *EMBO Mol Med*; 15(2): e16427. doi: 10.15252/emmm.202216427.
23. Gueddouri, D., Caüzac, M., Fauveau, V. [et al]. (2022). Insulin resistance per se drives early and reversible dysbiosis-mediated gut barrier impairment and bactericidal dysfunction. *Mol Metab*; 57: 101438. doi: 10.1016/j.molmet.2022.101438.
24. Liu, L., Guo, Y., Zheng, J. [et al]. (2019). Paneth cell ablation increases the small intestinal injury during acute necrotizing pancreatitis in rats. *Mol Med Rep*; 20(1): 473-484. doi: 10.3892/mmr.2019.10274.

**Hryhorova N. V.**

## **THE INFLUENCE OF ADAPTIVE HORMONES ON THE STATE OF PANETH CELLS OF ANIMALS WITH ALLOXAN DIABETES**

**Introduction.** *It is known that in diabetes mellitus, which belongs to the group of metabolic diseases, all types of metabolism are disturbed, including microelement metabolism. The microelement zinc plays an important role in the functioning of a living organism and the implementation of its vital processes. Paneth cells of the small intestine contain zinc ions in their secretory granules. It is likely that in Paneth cells, like  $\beta$ -cells of pancreatic islets, this metal also participates in the formation of a complex with secretory material and its deposition. This gives reason to believe that not only the amount of secretion in Paneth cells, but also the content of the metal bound to it, are indicators of their functional state. Taking into account the above, it is of*

interest to study the content of zinc and secretory material in Paneth cells of animals during the modeling of diabetes mellitus and its correction by the introduction of adaptive hormones. The imperfect nature of existing cytochemical methods for metal and secretion detection in Paneth cells has prevented such studies from being conducted earlier. This problem was overcome by our development of the 8-(p-toluenesulfonylamino)-quinoline (8-TSQ) reaction and modification of the phloxine reaction in these small intestinal cells.

**The purpose** of the study was to investigate changes in the content of zinc and secretory material in Paneth cells of animals with alloxan diabetes after the administration of adrenaline and prednisolone separately and in combination with insulin.

**Methods.** The experiments were conducted on white outbred mice and rats aged 6 months. Some animals received a single injection of alloxan, while others received insulin, adrenaline and prednisolone a day after the administration of the diabetogenic agent. These procedures were repeated for 4 days. Cytochemical methods were used to conduct the studies. Yellow-green luminescence was detected on preparations stained with 8-TSQ, which is an indicator of the content of zinc in Paneth cells of the small intestine. When stained with phloxine, red granules were detected in the cytoplasm of Paneth cells. The number of these granules is an indicator of the content of secretory material in the cells. The content of secretory material was estimated in conventional units, and zinc in  $\mu\text{g/g}$ . The results were statistically processed using the Student's t-test using the Statistica 6.0 program. The Pearson correlation coefficient ( $r$ ) was calculated to assess the degree of relationship between changes in the studied indicators.

**Results.** In Paneth cells of mice after alloxan injection, the zinc content decreased by 29-49% and the secretory material by 27-42%, and in rats – by 29-55 and 26-47%, respectively ( $p < 0,001$ ). After the administration of insulin, adrenaline and prednisolone against the background of the development of alloxan diabetes, the intracellular metal and secretory content were lower compared to the control in mice by 10% ( $p > 0,05$ ) – 29% ( $p < 0,01$ ) and 11% ( $p > 0,05$ ) – 25% ( $p < 0,01$ ), in rats – 8% ( $p > 0,05$ ) – 32% ( $p < 0,001$ ) and 11% ( $p > 0,05$ ) – 26% ( $p < 0,05$ ). In relation to diabetic animals, the obtained figures were higher in mice by 16% ( $p < 0,05$ ) – 52% ( $p < 0,01$ ) and 15% ( $p < 0,05$ ) – 43% ( $p < 0,01$ ), respectively, in rats – by 15% ( $p < 0,05$ ) – 71% ( $p < 0,001$ ) and 14% ( $p < 0,05$ ) – 56% ( $p < 0,001$ ). In the case of the combined action of adaptive hormones in Paneth cells of animals with alloxan diabetes, an unreliable nature of changes in the content of zinc and secretory material was established in relation to the control, and in comparison with diabetic mice, the indicators were higher by 32-81% ( $p < 0,001$ ) and 28-57% ( $p < 0,01$ ), respectively, in diabetic rats – by 33-107% ( $p < 0,001$ ) and 26% ( $p < 0,01$ ) – 67% ( $p < 0,001$ ). Positive correlation coefficients of changes in the content of zinc and secretory material in Paneth cells of experimental rats indicate the presence of a functional connection between these components.

**Originality.** For the first time, using the developed cytochemical reaction of 8-TSQ and the modified phloxine reaction, a study of the influence of adaptive hormones on the state of Paneth cells of animals with alloxan diabetes was carried out.

**Conclusion.** The introduction of the diabetogenic agent alloxan led to the development of zinc and secretory material deficiency in Paneth cells of mice and rats, which indicates the suppression of the functional state of these cells. Partial correction of zinc and secretory deficiency in Paneth cells was observed in the case of the administration of insulin, adrenaline and prednisolone to animals with alloxan diabetes. The corrective effect was more pronounced with the combined action of adaptive hormones. The results obtained will allow us to deepen our understanding of the pathogenetic mechanisms of the development of diabetes, and the search for ways to correct the disorders contributes to the prevention and treatment of this disease.

**Keywords:** adrenaline, insulin, prednisolone, secretory material, zinc.

UDC: 616.152.21; 612.271:611.36

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-2-23-30

**M. O. Zavhorodnii**Bogomoletz Institute of Physiology NAS of Ukraine, Kyiv  
Centre of Astronomical, Medical and Ecological Researches NAS of Ukraine, KyivORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1719-9864>**V. I. Nosar**

Bogomoletz Institute of Physiology NAS of Ukraine, Kyiv

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-6268-2711>**P. K. Tsapenko**Bogomoletz Institute of Physiology NAS of Ukraine, Kyiv  
Centre of Astronomical, Medical and Ecological Researches NAS of Ukraine, KyivORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1196-015X>**V. I. Portnichenko**Bogomoletz Institute of Physiology NAS of Ukraine, Kyiv  
Centre of Astronomical, Medical and Ecological Researches NAS of Ukraine, Kyiv[dr.v.portnichenko@gmail.com](mailto:dr.v.portnichenko@gmail.com)ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1473-2408>

## OXIDATIVE FUNCTION OF RAT LIVER MITOCHONDRIA DURING ACUTE HYPEROXIA AND RECOVERY

Energy metabolism in the liver, a key organ regulating both substance and energy metabolism in the body, depends critically on oxygen consumption. The primary organelles responsible for oxidative energy metabolism are mitochondria. Hyperoxia and oxygen therapy are widely used as therapeutic interventions in hepatic diseases and metabolic disorders. However, the specific effects of hyperoxia on energy metabolism and the oxidative function of liver mitochondria remain insufficiently understood.

**Purpose.** The aim of this study was to investigate the oxidative function of rat liver mitochondria under different types of hyperoxic exposure.

**Methods.** The oxidative function of mitochondria was examined in 35 male Wistar rats. The polarographic method described by Chance and Williams was used. Mitochondrial respiration was assessed in liver homogenates using an open platinum electrode and a thermostabilized chamber containing the incubation medium and oxidation substrates. The oxygen consumption rate was measured under conditions of resting respiration ( $V_4^S$ ), active respiration ( $V_3$ ), and controlled respiration ( $V_4^{ATP}$ ) immediately after exposure to hyperoxia, as well as on days 1, 3, 5, 7, and 14 post-exposure. Respiration was stimulated by the addition of 200  $\mu\text{mol/L}$  ADP. The respiratory control ratio ( $V_3/V_4^{ATP}$ ) and the phosphorylation efficiency (ADP/O ratio) were calculated.

**Results.** Under hyperoxic conditions, the rate of active respiration ( $V_3$ ) significantly increased during the oxidation of FAD-dependent succinate, but not during the oxidation of the NAD-dependent glutamate + malate mixture. The efficiency of oxidation and phosphorylation was restored by day 7 after hyperoxic exposure when electron transport chain Complex II was involved, whereas with Complex I substrates, it remained below baseline for 14 days. A significant increase in mitochondrial energization was observed from day 5 onward during the oxidation of NAD-dependent substrates compared to the immediate post-exposure level.

**Originality.** This study demonstrates for the first time that hyperoxia-induced alterations in liver mitochondrial oxidative function occur in a phase-dependent manner.

**Conclusions.** During hyperoxia, mitochondrial respiration is activated through electron transport chain Complex II, while the activity of Complex I is suppressed. It is proposed that Complex II contributes to the adaptive response of mitochondrial respiration to hyperoxic exposure.

**Keywords:** mitochondria, liver, polarography, Chance method, hyperoxia, oxygen.

## Introduction

At present, there is no clear consensus regarding the effects of hyperoxia (HO) during oxygen therapy on energy metabolism under either normal or pathological conditions. While several studies have shown that hyperoxia and hyperoxemia may exert detrimental effects in critically ill patients [1], oxygen therapy remains an established and effective approach in the treatment of hepatic and metabolic disorders [2]. Furthermore, the administration of hyperoxic gas mixtures containing more than 30% O<sub>2</sub> during surgical procedures is routinely used to maintain adequate and stable blood oxygen saturation or to provide a pulmonary oxygen reserve in cases of airway dysfunction [3].

It is well known that tissue hypoxia develops in injured areas during the healing process. Numerous studies have demonstrated that normobaric hyperoxic exposure promotes wound healing and attenuates inflammation in both somatic and visceral organs [4–6]. Despite the promising therapeutic potential of normobaric hyperoxia, the mechanisms underlying its beneficial effects remain a matter of debate and require further elucidation. The wide variability in hyperoxic exposure protocols, coupled with a lack of standardized analytical approaches, further complicates the interpretation and comparison of experimental data.

Mitochondria are the principal consumers of oxygen in the body and play a central role in cellular energy metabolism. These organelles are responsible for the active oxidation of energy substrates and the synthesis of adenosine triphosphate (ATP) through oxidative phosphorylation. At the same time, mitochondria are also the main source of reactive oxygen species (ROS) [7]. The regulation of energy metabolism and carbohydrate transformation within the body is largely dependent on the functional state of liver mitochondria [8].

Exposure to hyperoxic conditions has been shown to influence mitochondrial energy metabolism, potentially leading to oxidative stress and tissue injury as a result of excessive ROS generation. However, the specific features of mitochondrial oxidative function and oxygen metabolism in the liver under hyperoxic conditions remain poorly understood.

Therefore, the present study aimed to characterize the changes in the oxidative function of liver mitochondria following exposure to hyperoxia.

## Materials and methods

The experiments were conducted on 35 male Wistar rats, which were divided into two groups: 1) "control" (n = 5), and 2) "hyperoxia" (n = 30). The control group consisted of intact rats that were kept under standard vivarium conditions with free access to water and food. These rats were in a chamber without a hyperoxic mixture throughout the hyperoxic session. Animals from the "hyperoxia" group were exposed to an acute single exposure to a normobaric hyperoxic mixture (35% oxygen) for a period of three hours. Subsequently, to study the effect on oxidative metabolism of liver mitochondria during the recovery period after acute hyperoxia, studies were conducted for fourteen days at periods 1, 3, 5, 7 and 14 days.

In order to study the oxidative function of liver mitochondria, a homogenate was prepared. Liver fragments obtained from rats that had been anesthetized with ether (1.5 g/kg) were promptly placed on ice and subsequently homogenized using a mechanical homogenizer, with the addition of a 0.9% cold KCl solution (4°C). The mitochondrial isolation medium contained (mmol/L): KCl – 120, HEPES – 10, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 2, EGTA-1 (pH 7.2), and the incubation medium – KCl – 120, HEPES – 10, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 2, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – 2 (pH 7.2) [9, 10]. The processes of respiration and oxidative phosphorylation in mitochondria were studied by the polarographic method according to Chance and Williams [11]. For the purpose of conducting polarographic studies called "Polarograph LP 7" (Czech Republic, 1974) with an open platinum electrode was utilized. The device underwent calibration using a 0.9% sodium chloride (NaCl) solution saturated with oxygen for a duration of 24 hours (maximum oxygen pressure) against a 0.9% NaCl solution with the incorporation of sodium sulfate dihydrate (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) at a concentration of 1 mg/ml (minimum oxygen pressure). A volume of 1 ml of homogenate was introduced into a polarographic cell. Subsequently, 1 ml of incubation medium and the requisite dose of oxidation substrate were added. Thereafter, alterations in O<sub>2</sub> partial pressure over time were



documented. The recording was carried out using a paper recorder called "Polarograph LP 7" (Czech Republic, 1974). The following oxidation substrates were used (mmol/l):

1) succinate (Sc) – 0.35

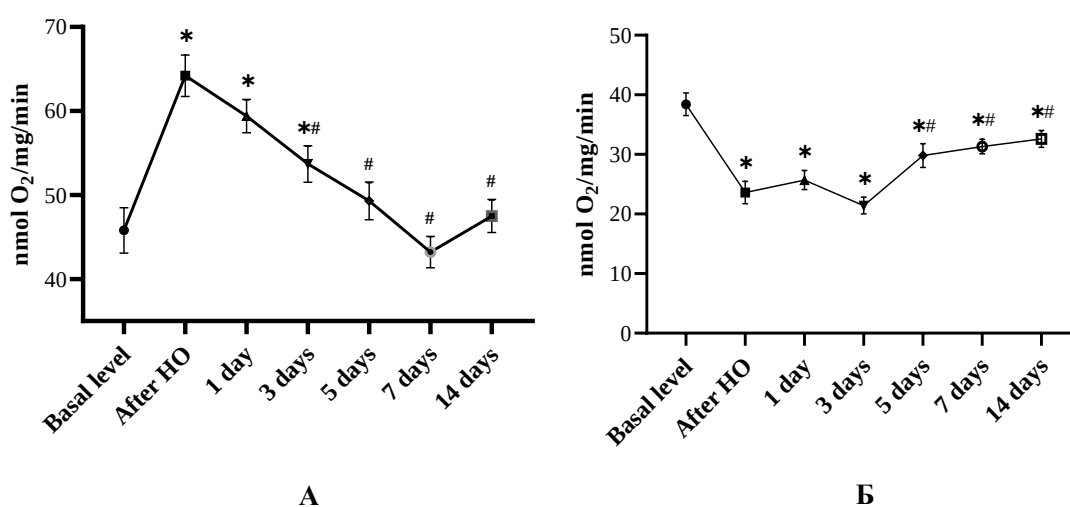
(oxidized by the II complex of the electron transport chain);

2) glutamate – 3 and malate – 2.5

(oxidized mainly by the I complex of the electron transport chain) [11]. Respiration was stimulated by the introduction of 200  $\mu\text{mol/l}$  ADP (Sigma Aldrich, USA). The rate of mitochondrial respiration during the oxidation of substrates in the resting state ( $V_4^S$ ), the rate of phosphorylation or ADP-stimulated ( $V_3$ ) and controlled ( $V_4^{\text{ATP}}$ ) respiration were determined, and the respiratory control according to Chance and Williams ( $V_3/V_4^{\text{ATP}}$ ) and the ADP/O ratio, which reflects the efficiency of phosphorylation, were calculated [10, 11]. For the purpose of statistical analysis of the obtained data, generally accepted methods of variational statistics were utilized, employing the GraphPad Prism 8 software program (GraphPad Software, Inc., USA). The data were examined for normality using a Kolmogorov-Smirnov test to ensure the distribution was appropriate for the analysis. The samples were then subjected to a one-way analysis of variance (ANOVA) test, with the Bonferroni criterion employed as a post hoc test. The level of statistical significance was established as  $P \leq 0.05$ . The results were presented as mean  $\pm$  standard error of mean ( $M \pm m$ ).

### Results and Discussion

The level of oxygen consumption in the  $V_4^S$  state during the oxidation of FAD-dependent succinate significantly increased ( $P < 0.05$ ) immediately after exposure to hyperoxia and 1 day after exposure to hyperoxia. Beginning on the third day following exposure to HO, the level of oxygen consumption by liver mitochondria in the  $V_4^S$  state reverted to the basal level. This level remained relatively stable until day 14, as illustrated in Table 1. The oxygen consumption during stimulation of mitochondrial respiration with adenosine diphosphate exhibited a significant increase ( $P < 0.05$ ) compared to the baseline level immediately following hyperoxic exposure, persisting up to and including day 3. On the fifth day, a "breakthrough" in mitochondrial energization was observed, during which the level of oxygen consumption significantly differed from that immediately after exposure to HO. Starting from the fifth day, a further decrease in oxygen consumption was observed, and it did not differ from the basal level. (Fig. 1A) The level of controlled breathing under the influence of HO increased significantly relative to the basal level immediately after the hyperoxic session and was significantly higher after 1 day ( $P < 0.05$ ), while after 5 days it approached the basal level (Table 1).



**Fig. 1. The rate of ADP-stimulated respiration ( $V_3$ ) in rat liver mitochondria was measured under conditions of hyperoxia (HO) exposure during the oxidation of A) FAD-dependent succinate; B) NAD-dependent substrates.**

Notes: \* –  $P < 0.05$  compared to basal level; # –  $P < 0.05$  compared to point "after HO".

The efficiency of mitochondrial respiration ( $V3/V4^{ATP}$ ) exhibited a significant decrease ( $P<0.05$ ) immediately after exposure to HO and after 1 day, and on the 5th day after exposure to hyperoxia – did not differ from the basal level. Conversely, starting from the 7th day, an enhancement in the efficiency of mitochondrial respiration was observed relative to the basal level (see Table 1). This phenomenon can be attributed, primarily, to an increase in the level of controlled respiration immediately after exposure to HO and after one day. Concurrently, the ADP/O indicator, which reflects the degree of conjugation of oxidation and phosphorylation and the efficiency of phosphorylation of ADP to ATP [12], did not demonstrate a significant decrease ( $P<0.05$ ) only immediately after exposure to HO, and on the first day did not differ significantly from the basal level. The restoration of phosphorylation efficiency was observed from the 7th day after exposure to hyperoxia (see Table 1).

**Table 1**

**Indicators of mitochondrial respiration under the influence of acute HO under the conditions of using the substrate sodium succinate ( $M\pm m$ ).**

| Substrate       | Sodium succinate, 5 mmol    |            |                |            |
|-----------------|-----------------------------|------------|----------------|------------|
|                 | $V4^S$                      | $V4^{ATP}$ | $V3/ V4^{ATP}$ | ADP/O      |
|                 | mmol $O_2/min^{-1}/mg^{-1}$ |            | c.u.           |            |
| Basal level     | 10,2±0,90                   | 10,8±1,2   | 4,24±0,09      | 1,57±0,04  |
| After hyperoxia | 16,7±1,1*                   | 17,7±1,4*  | 3,62±0,07*     | 1,42±0,06* |
| 1 day           | 14,2±1,2*                   | 15,0±1,3*  | 3,94±0,11*     | 1,48±0,04  |
| 3 days          | 12,8±0,87                   | 13,2±0,98  | 4,04±0,19      | 1,52±0,07  |
| 5 days          | 10,8±0,92                   | 12,0±1,4   | 4,11±0,15      | 1,53±0,10  |
| 7 days          | 9,1±1,0                     | 10,0±0,94  | 4,32±0,87*     | 1,58±0,11  |
| 14 days         | 12,6±1,7                    | 11,1±1,1   | 4,28±0,10*     | 1,60±0,15  |

Note: \* –  $P<0,05$  compared to basal level.

Thus, the impact of acute HO resulted in an augmentation of mitochondrial oxygen consumption, with the involvement of FAD-dependent succinate. This phenomenon returned to its basal level after a period of 3-5 days. The efficiency of respiration and phosphorylation decreased only with the direct effect of acute HO, and by day 3, these indicators returned to their initial values. This is consistent with the literature data, since, as is known [13], succinate is actively used as an oxidation substrate in hyperoxia therapy in intensive care. In turn, the utilization of succinate, which is oxidized in the mitochondria with the participation of the complex II of the electron transport chain, contributes to a decrease in the production of reactive oxygen species by the mitochondria in case of impaired oxygen homeostasis [14].

In the context of mitochondrial oxidation of NAD-dependent substrates (glutamate + malate mixture), disparate reactions of liver tissue to acute hyperoxia were observed. Consequently, the level of mitochondrial respiration at rest exhibited a tendency to decrease immediately after exposure to HO, and a significant decrease was observed ( $P < 0.05$ ) three days after exposure to HO (see Table 2). The level of mitochondrial energization under conditions of ADP-stimulated respiration demonstrated a significant decrease immediately after hyperoxic exposure ( $P < 0.05$ ). Additionally, it was observed to be lower in comparison to the basal level after 3, 5, 7, and 14 days, although a tendency towards recovery emerged, as it was higher after 5, 7 and 14 days in comparison to the level of energization after hyperoxia (Fig. 1B). Under controlled breathing conditions ( $V4^{ATP}$ ), a significant decrease ( $P<0.05$ ) in the rate of oxygen consumption was observed only immediately after hyperoxia, and after 5 days this indicator returned to the basal level (see Table 2).

Table 2

**Indicators of mitochondrial respiration under the influence of acute HO under the conditions of using the substrate glutamate+malate mixture (M±m).**

| Substrate       | Sodium glutamate 5 mmol + malate 2,5 mmol                |                   |                       |            |
|-----------------|----------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|------------|
|                 | V4 <sup>S</sup>                                          | V4 <sup>ATP</sup> | V3/ V4 <sup>ATP</sup> | ADP/O      |
|                 | mmol O <sub>2</sub> /min <sup>-1</sup> /mg <sup>-1</sup> |                   | с.у.                  |            |
| Basal level     | 7,3±1,0                                                  | 7,9±0,70          | 4,86±0,05             | 2,59±0,06  |
| After hyperoxia | 5,6±0,9                                                  | 5,7±0,95*         | 4,14±0,04*            | 2,32±0,04* |
| 1 day           | 5,9±0,87                                                 | 6,1±1,2           | 4,21±0,09*            | 2,38±0,08* |
| 3 days          | 5,1±1,0*                                                 | 5,7±1,1*          | 3,74±0,03*            | 2,27±0,03* |
| 5 days          | 8,2±1,2                                                  | 7,7±1,3           | 3,87±0,05*            | 2,42±0,04* |
| 7 days          | 8,0±1,4                                                  | 7,7±1,2           | 4,06±0,07*            | 2,34±0,03* |
| 14 days         | 7,2±0,77                                                 | 7,8±0,94          | 4,18±0,05*            | 2,46±0,05  |

Note: \* – P<0,05 compared to basal level.

As a result, the level of respiratory control in the context of acute HO exhibited a significant decrease (P<0.05) throughout the experimental period. Parallel significant changes (P<0.05) were observed in the level of ADP/O (Table 2). Accordingly, the level of ADP-stimulated respiration during the oxidation of NAD-dependent substrates under HO conditions was significantly lower throughout the duration of the experiment. This finding is also evident in the efficiency of oxidation and phosphorylation (V3/V4<sup>ATP</sup> and ADP/O). Thus, the mitochondria of rat liver tissues respond to acute hyperoxia through the I and II complexes of the electron transport chain in distinct ways: the I complex of the electron transport chain appears to be more sensitive to the effects of hyperoxia, presumably due to its role in oxidizing NAD-dependent substrates. Consequently, the levels of oxygen consumption by mitochondria decrease, and with them the efficiency of respiration and phosphorylation. Complex II of ETC (oxidation of FAD-dependent substrates) demonstrates reduced vulnerability to the influx of HO.

In numerous studies of oxygen metabolism, it has been demonstrated that relative changes in oxygen availability, as opposed to constant hyperoxia or hypoxia, exert a more substantial influence on the expression of the transcription factor HIF [15–17]. Consequently, cells interpret the return to normoxia after hyperoxic exposure or the transition from normoxia to hypoxia as oxygen deficiency, leading to the induction of the synthesis of genes regulated by HIF-1 [15–17]. Accordingly, the observed manifestations of mitochondrial dysfunction in liver cells, as evidenced by an increase in O<sub>2</sub> consumption under conditions of FAD-dependent substrate oxidation and a decrease in NAD-dependent substrate oxidation, bear a strong resemblance to the changes that have been documented under conditions of hypoxia [19, 20]. These effects can be explained by the development of the hyperoxic-hypoxic paradox [18], in which there is a shift of the hemoglobin dissociation curve to the left, resulting in disrupted oxygen diffusion into the tissue and subsequent tissue hypoxia. This, in turn, is accompanied by spasms of small vessels, which further complicates oxygen delivery to the tissue and leads to the activation of lipid peroxidation and the development of oxidative stress. It is noteworthy that the oxidative function of mitochondria undergoes changes under the influence of hyperoxia, which can be considered a phase-dependent phenomenon. Subsequent to the hyperoxic state, a restructuring of energy metabolism is observed, accompanied by the inhibition of complex I and the activation of complex II of the electron transport chain. This phenomenon has been previously demonstrated in works devoted to the influence of hypoxia [19, 20]. As ETC complex I exhibits higher sensitivity to stress factors [10, 21], we observed a

consistent decline in oxygen consumption, oxidation efficiency, and phosphorylation within the liver's mitochondria in response to hyperoxia. It is hypothesized that hyperoxia induced by this regimen altered the function of the first complex, such that restoration of its function was not observed on the third day after the hyperoxic session. Beginning on the fifth day and continuing until the conclusion of the experiment, a significant increase in oxygen consumption may indicate the involvement of compensatory mechanisms for the optimal level of mitochondrial energization, particularly oxidation with the participation of ETC complex II. The rate of FAD-dependent succinate oxidation through ETC complex II, which literature data indicate compensates for the insufficiency of ETC complex I [14, 21-22], returned to the basal level after the 5th day of hyperoxic exposure, which supports our assumption.

The results obtained can be used for further studies of the role of mitochondria in adaptation to HO. The involvement of mitochondrial genes in the functional reorganization of the electron transport chain remains unclear. This is a key question regarding the protective effect of HO on liver mitochondria.

### Conclusions

- Changes in the energization of liver mitochondria under hyperoxia conditions are phase-dependent.
- The I complex of ETC of liver mitochondria exhibits higher sensitivity to the effects of hyperoxia, which impacts the efficiency of oxidation and phosphorylation. The complex II undergoes only minor changes up to three days following exposure to hyperoxia.
- The oxidation of FAD-dependent substrates by liver mitochondria has been shown to compensate for the energy deficiency that results from impaired functioning of the ETC complex I.

### References

1. Damiani, E., Donati, A., & Girardis, M. (2018). Oxygen in the critically ill. *Current Opinion in Anaesthesiology*, 31(2), 129–135. <https://doi.org/10.1097/aco.0000000000000559>
2. Sun Y, Wen Y, Shen C, Zhu Y, You W, Meng Y, Chen L, Feng Y, Yang X, Chen ZB. Sun, Y., Wen, Y., Shen, C., Zhu, Y., You, W., Meng, Y., Chen, L., Feng, Y., Yang, X., & Chen, Z.-B. (2018). Hyperbaric Oxygen Therapy in Liver Diseases. *International Journal of Medical Sciences*, 15(8), 782–787. <https://doi.org/10.7150/ijms.24755>
3. Müller-Wirtz, L. M., Kiefer, D., Knauf, J., Floss, M. A., Doneit, J., Wolf, B., Maurer, F., Sessler, D. I., Volk, T., Sascha Kreuer, & Fink, T. (2021). Differential Response of Pentanal and Hexanal Exhalation to Supplemental Oxygen and Mechanical Ventilation in Rats. *Molecules*, 26(9), 2752–2752. <https://doi.org/10.3390/molecules26092752>
4. Choi, M., Tamrakar, P., Schuck, P. F., Proctor, J. L., Moore, A., Asbury, K., Fiskum, G., Coksaygan, T., & Cross, A. S. (2018). Effect of hypobaria and hyperoxia during sepsis on survival and energy metabolism. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 85, S68–S76. <https://doi.org/10.1097/ta.0000000000001909>
5. Sukhotnik I, Brod, V., Lurie, M., Rahat, M. A., Sergei Shnizer, Nitza Lahat, Mogilner, J. G., & Bitterman, H. (2009). The effect of 100% oxygen on intestinal preservation and recovery following ischemia-reperfusion injury in rats. *Critical Care Medicine*, 37(3), 1054–1061. <https://doi.org/10.1097/ccm.0b013e31819d0f5c>
6. Kemal Uslu, Hasan Deniz Tansuker, Alper Tabaru, Selim Engin Egeren, Kemal Kutay Kulahci, Pınar Bulut, Funda Emre, & Oktay, M. F. (2020). Investigation of the effects of thrombocyte-rich plasma, systemic ozone and hyperbaric oxygen treatment on intraoral wound healing in rats: experimental study. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 277(6), 1771–1777. <https://doi.org/10.1007/s00405-020-05872-5>
7. Divakaruni, A. S., & Jastroch, M. (2022). A practical guide for the analysis, standardization and interpretation of oxygen consumption measurements. *Nature Metabolism*, 4(8), 978–994. <https://doi.org/10.1038/s42255-022-00619-4>
8. Han, H.-S., Kang, G., Kim, J. S., Choi, B. H., & Koo, S.-H. (2016). Regulation of Glucose Metabolism from a liver-centric Perspective. *Experimental & Molecular Medicine*, 48(3), e218–e218. <https://doi.org/10.1038/emm.2015.122>
9. Kondrashova, M. N., Fedotcheva, N. I., Saakyan, I. R., Sirota, T. V., Lyamzaev, K. G., Kulikova, M. V., & Temnov, A. V. (2001). Preservation of native properties of mitochondria in rat liver homogenate. *Mitochondrion*, 1(3), 249–267. [https://doi.org/10.1016/s1567-7249\(01\)00025-3](https://doi.org/10.1016/s1567-7249(01)00025-3)
10. Kurhaluk, N., Lukash, O., Nosar, V., Portnychenko, A., Volodymyr Portnichenko, Wszedybyl-Winklewska, M., & Winklewski, P. J. (2019). Liver mitochondrial respiratory plasticity and oxygen uptake evoked by cobalt chloride in rats with low and high resistance to extreme hypobaric hypoxia. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 97(5), 392–399. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2018-0642>

11. Chance, B., Williams, G.R. (1955). Respiratory enzymes in oxidative phosphorylation. Kinetics of oxygen utilization. *Ibid.* 217,383–393. PMID: 13271402.
12. Estabrook, R. W. (1967). Mitochondrial respiratory control and the polarographic measurement of ADP: O ratios. *Methods in Enzymology*, 41–47. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(67\)10010-4](https://doi.org/10.1016/0076-6879(67)10010-4).
13. Orlov, Y.P., Afanasyev, V.V. (2018). Hypoxia and hyperoxia in the practice of anesthesiology and reanimatology. The role of succinates in critical conditions. *Reports of Surgery*, 26(2), 226–237. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(67\)10010-4](https://doi.org/10.1016/0076-6879(67)10010-4).
14. Hadrava Vanova, K., Kraus, M., Neuzil, J., & Rohlena, J. (2020). Mitochondrial complex II and reactive oxygen species in disease and therapy. *Redox Report : Communications in Free Radical Research*, 25(1), 26–32. <https://doi.org/10.1080/13510002.2020.1752002>.
15. Cimino, F., Balestra, C., Germonpré, P., De Bels, D., Tillmans, F., Saija, A., Virgili, F. (2012). Pulsed high oxygen induces a hypoxic-like response in human umbilical endothelial cells and in humans. *Journal of Applied Physiology*, 113(11), 1684–1689. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00922.2012>
16. Balestra, C., & Kot, J. (2021). Oxygen: A Stimulus, Not “Only” a Drug. *Medicina*, 57(11), 1161. <https://doi.org/10.3390/medicina57111161>
17. Hadanny, A, & Efrati, S. (2020). The Hyperoxic-Hypoxic Paradox. *Biomolecules*, 10(6), 958. <https://doi.org/10.3390/biom10060958>
18. Lukyanova LD. (2013) Mitochondria signaling in adaptation to hypoxia. *Fiziol. Zh.* 59(6), 141–154. <https://doi.org/10.15407/fz59.06.141>
19. Portnichenko VI, Nosar VI, Portnichenko AG, Drevitska TI, Sidorenko AM, Man`kovska IM. (2012). Phase changes in energy metabolism during periodic hypoxia. *Fiziol. Zh.* 58(4), 3–12. <https://doi.org/10.15407/fz58.04.003>
20. Tretter, L., Patocs, A., & Chinopoulos, C. (2016). Succinate, an intermediate in metabolism, signal transduction, ROS, hypoxia, and tumorigenesis. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1857(8), 1086–1101. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2016.03.012>.
21. Zhao, H. W., Ali, S. S., & Haddad, G. G. (2012). Does Hyperoxia Selection Cause Adaptive Alterations of Mitochondrial Electron Transport Chain Activity Leading to a Reduction of Superoxide Production? *Antioxidants & Redox Signaling*, 16(10), 1071–1076. <https://doi.org/10.1089/ars.2011.4504>

**Завгородній М. О., Цапенко П. К., Носар В. І., Портніченко В. І.**  
**ОКИСЛЮВАЛЬНА ФУНКЦІЯ МІТОХОНДРІЙ ПЕЧІНКИ ЩУРІВ ПІД ЧАС**  
**ГОСТРОЇ ГІПЕРОКСІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ**

*Енергетичний обмін у печінці, ключовому органі, що регулює як речовинний, так і енергетичний обмін в організмі, критично залежить від споживання кисню. Основними органелами, відповідальними за окислювальний енергетичний обмін, є мітохондрії. Гіпероксія та киснева терапія широко використовуються як терапевтичні втручання при захворюваннях печінки та метаболічних порушеннях. Однак специфічний вплив гіпероксії на енергетичний обмін та окислювальну функцію мітохондрій печінки залишається недостатньо вивченим.*

**Мета.** Метою цього дослідження було дослідити окислювальну функцію мітохондрій печінки щурів за різних типів гіпероксичного впливу.

**Методи.** Окислювальну функцію мітохондрій досліджували у 35 самців щурів Вістар. Використовували полярографічний метод, описаний Чансом та Вільямсом. Мітохондріальне дихання оцінювали в гомогенатах печінки за допомогою відкритого платинового електрода та термостабілізованої камери, що містить інкубаційне середовище та субстрати окислення. Швидкість споживання кисню вимірювали в умовах дихання у стані спокою ( $V_4S$ ), активного дихання ( $V_3$ ) та контрольованого дихання ( $V_4ATP$ ) одразу після впливу гіпероксії, а також на 1, 3, 5, 7 та 14 дні після впливу. Дихання стимулювали додаванням 200 мкмоль/л АДФ. Були розраховані коефіцієнт контролю дихання ( $V_3/V_4ATP$ ) та ефективність фосфорилування (співвідношення  $ADP/O$ ).

**Результати.** В умовах гіпероксії швидкість активного дихання ( $V_3$ ) значно зростала під час окислення  $FAD$ -залежного сукцинату, але не під час окислення суміші  $NAD$ -залежного глутамату та малату. Ефективність окислення та фосфорилування відновлювалася до 7-го дня після гіпероксичного впливу, коли був задіяний комплекс II ланцюга електронного транспорту, тоді як з субстратами комплексу I вона залишалася

нижчою за базовий рівень протягом 14 днів. Значне збільшення енергетизації мітохондрій спостерігалось з 5-го дня під час окислення NAD-залежних субстратів порівняно з рівнем безпосередньо після впливу.

**Оригінальність.** Це дослідження вперше демонструє, що індуковані гіпероксією зміни окислювальної функції мітохондрій печінки відбуваються фазозалежним чином.

**Висновки.** Під час гіпероксії мітохондріальне дихання активується через комплекс II ланцюга електронного транспорту, тоді як активність комплексу I пригнічується. Припускається, що Комплекс II сприяє адаптивній реакції мітохондріального дихання на гіпероксичний вплив.

**Ключові слова:** мітохондрії, печінка, полярографія, метод Чанса, гіпероксія, кисень.

Надійшла до редакції / Received: 08.10.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.12.2025

УДК 612.13

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-2-31-37

**Станіслав Олександрович Коваленко**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[kovstas@ukr.net](mailto:kovstas@ukr.net)ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4631-0464>**Іван Сергійович Дзюник**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[ivandzunik@gmail.com](mailto:ivandzunik@gmail.com)ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7491-4116>**Ігор Олександрович Сич**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[sych.igor924@vu.cdu.edu.ua](mailto:sych.igor924@vu.cdu.edu.ua)ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2897-5187>**Роман Анатолійович Циганник**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[roma.tsygannyk@gmail.com](mailto:roma.tsygannyk@gmail.com)ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7955-7343>

## ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ СЕРЦЕВОГО РИТМУ ПРИ ТИМЧАСОВІЙ ОКЛЮЗІЇ НИЖНІХ КІНЦІВОК У АТЛЕТІВ

**Анотація.** Тимчасова оклюзія нижніх кінцівок є доступною моделлю короткочасної ішемії, що дозволяє відтворити контрольований фізіологічний стрес без суттєвого ризику для здоров'я. Вона супроводжується активацією периферичних та центральних механізмів регуляції кровообігу, змінює тонус судин і впливає на роботу серцево-судинної системи. Вивчення реакції варіабельності серцевого ритму на такі зміни відкриває можливість глибше зрозуміти механізми її адаптації до короткочасних ішемічних впливів.

Вимірювання здійснювали на 30 чоловіках віком 18-25 років - студентах фізкультурно-спортивних спеціалізацій. Оклюзійні впливи виконували на стегнах манжетом для вимірювання артеріального тиску шириною 200 мм упродовж 3 хвилин. Інтенсивність першого впливу складала рівень діастолічного тиску + 50 мм рт.ст.; другого - рівень систолічного тиску + 50 мм рт.ст. Показники варіабельності серцевого ритму реєстрували та розраховували в програмі Polar Protrainer 5.0.

Венозна оклюзія не спричиняла суттєвих зрушень часових показників варіабельності серцевого ритму, а артеріальна викликала їх рівня з 1-ї по 10- хвилини відновлення. Найбільшим було зростання rMSSD як маркера збільшення тонусу парасимпатичного відділу вегетативної нервової системи. Аналіз коефіцієнтів варіації реактивності показників ВСР показав, що їх рівень був вірогідно вищим на 1-й та 10-й хвилинах впливу після венозної оклюзії ніж у відповідні періоди часу після артеріальної. Це може свідчити про наявність більш виражених індивідуальних пристосувань регуляції серцевого ритму при венозній оклюзії у порівнянні з артеріальною. Аналіз змін спектральних показників ВСР показав суттєве збільшення парасимпатичних впливів на діяльність серця при артеріальній оклюзії.

**Ключові слова:** варіабельність серцевого ритму, оклюзія нижніх кінцівок, функціональний стан, атлети

**Постановка питання.** Варіабельність серцевого ритму (ВСР) є одним із провідних неінвазивних методів оцінки стану вегетативної регуляції серцево-судинної системи як у чоловіків так і у жінок [1]. Аналіз показників ВСР дає змогу виявити особливості взаємодії симпатичної та парасимпатичної ланок нервової системи, оцінити адаптаційні



можливості організму та рівень його функціональної напруги. Саме тому вивчення змін ВСР під впливом різних фізіологічних і стресових чинників має важливе наукове й практичне значення.

Тимчасова оклюзія нижніх кінцівок є доступною моделлю короткочасної ішемії, що дозволяє відтворити контрольований фізіологічний стрес без суттєвого ризику для здоров'я. Вона супроводжується активацією периферичних та центральних механізмів регуляції кровообігу, змінює тонус судин і впливає на роботу серцево-судинної системи [2]. Вивчення реакції варіабельності серцевого ритму на такі зміни відкриває можливість глибше зрозуміти механізми її адаптації до короткочасних ішемічних впливів.

Дослідження впливу тимчасової оклюзії на ВСР є актуальним у контексті пошуку нових підходів до діагностики та профілактики серцево-судинних захворювань, оцінки ефективності тренувального процесу у спортсменів, а також удосконалення реабілітаційних програм для осіб із порушеннями серцево-судинної регуляції. Крім того, сучасні експериментальні роботи свідчать про потенційний позитивний ефект короткочасної ішемії (так званий «прекондиціонуючий» ефект) у підвищенні стійкості серцево-судинної системи до стресових впливів [3].

Таким чином, дослідження впливу тимчасової оклюзії нижніх кінцівок на варіабельність серцевого ритму є актуальним, оскільки воно сприяє розширенню знань про механізми автономної регуляції серця, має практичне значення для спортивної, клінічної та відновної медицини, а також може стати основою для розробки ефективних засобів оптимізації функціонального стану організму.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Реактивна гіперемія широко використовується для дослідження макросудинної - розширення, опосередковане потоком та мікросудинної - тест на оклюзію судин за допомогою ближньої інфрачервоної спектроскопії функції. Rasica L. e.a. [4] отримані суперечливі результати щодо відмінностей у результатах реактивної гіперемії, пов'язаних з рівнем фізичної підготовки та статтю. Втім в дослідженні Giovanna M. e.a. [5] показано, що пікова аеробна потужність, тривалість вправ, максимальний накопичений дефіцит кисню та споживання кисню покращилися під час вправ з надмаксимальною постійною інтенсивністю після шести сеансів оклюзії нижніх кінцівок. Однак комбінований гіпоксичний стрес або часткове оклюзія не призвели до подальшого збільшення пікової аеробної потужності. Метаналіз літератури [6] також надав помірні докази того, що ішемічне preconditionування не покращує аеробну здатність здорових дорослих, але сприяє збільшенню часу до виснаження під час аеробних вправ. Результати оклюзії нижніх кінцівок у спортсменів залежали не тільки від її параметрів, а і від ширини оклюзійної манжети [7]. Отже результати впливу оклюзії нижніх кінцівок у спортсменів залежать від багатьох факторів і не завжди односпрямовані.

Разом з цим показано, що ішемічне preconditionування може суттєво вплинути на сприйняття болю та підвищити збудливість кортикоспінального тракту під час довільних скорочень [8]. Це може вказувати не тільки на вплив цього тесту на кровообіг, але й на діяльність вегетативної нервової системи. Втім знайдене тільки одне дослідження [9] в котрому у дослідах на мишах доведено, що оклюзія кінцівок пов'язана зі змінами активності вегетативної нервової системи (частота серцевих скорочень, кровотік, ВСР) та легким ішемічним стресом міокарда, що сприяє кардіопротекції.

Тому актуальним є дослідження впливу тимчасової оклюзії нижніх кінцівок на показники варіабельності серцевого ритму які відображають не тільки особливості функціонування серцево-судинної системи, але і зміни тонуусу вегетативної нервової системи.

**Мета.** З'ясувати особливості показників варіабельності серцевого ритму при різних рівнях тимчасової оклюзії нижніх кінцівок у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей.



**Огляд основного матеріалу дослідження.**

**Методика.** Вимірювання здійснювали на 30 чоловіках віком 18-25 років - студентах фізкультурно-спортивних спеціалізацій Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького з дотриманням основних біоетичних положень Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину, Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1994-2008 рр.), а також наказу МОЗ України № 690 від 23 вересня 2009 року.

Всі вони за даними медичного обстеження були здорові, не мали гострих та хронічних захворювань.

Спочатку на кінцівки та грудну клітку обстежуваного датчик Polar WearLink w.i.n.d. (Polar electro OY, Finland), вимірювали артеріальний тиск. Після відпочинку в положенні лежачи горизонтально упродовж 5-10 хвилин здійснювали двохвилинну реєстрацію пульсограми за допомогою програми Polar Protrainer 5.0 (Polar Electro OY, Finland) [10]. Вимірювання повторювали з 1-ї, 10-ї та 20-ї хвилини після припинення оклюзійних впливів.

Окклюзійні впливи виконували на стегнах манжетою для вимірювання артеріального тиску шириною 200 мм упродовж 3 хвилин. Інтенсивність першого впливу (венозна оклюзія – В) складала рівень діастолічного тиску ( $AT_{діаст}$ ) + 50 мм рт.ст.; другого (артеріальна оклюзія – А) - рівень систолічного тиску ( $AT_{сист}$ ) + 50 мм рт.ст.

В програмі Polar Protrainer 5.0 (Polar Electro OY, Finland) розраховували показники варіабельності серцевого ритму. Оцінювали наступні часові показники BCP: RR – середнє значення масиву кардіоінтервалів, SDNN – середньоквадратичне відхилення масиву кардіоінтервалів, rMSSD – середньоквадратичне відхилення різниць між сусідніми кардіоінтервалами, pNN<sub>50</sub> – відсоток різниць між сусідніми кардіоінтервалами більше ніж 50 мс. Також аналізували спектральні показники BCP: LF – потужність хвиль інтервалів RR в діапазоні 0,04-0,15 Гц, HF – потужність хвиль інтервалів RR в діапазоні 0,15-0,4 Гц, HF<sub>norm</sub> – як відсоткове відношення HF до суми LF та HF. Всі вимірювання мали частоту дихання більше, ніж 8 циклів за хвилину. Таким чином її вплив на показник HF<sub>norm</sub> усувався [11].

Статистичний аналіз даних здійснювали за допомогою таблиць Excel-2003 та програми Statistica for Windows 12 (Statsoft Inc., Tulsa, USA), Polar Protrainer 5.0 (Polar Electro OY, Finland). Перевірку нормальності розподілу досліджуваних показників проводили за критерієм  $\chi^2$ . Для параметричної статистики розраховували середнє арифметичне (M), стандартну похибку вибіркового середнього (m). Для непараметричної – медіану, межі 25 та 75 перцентилів. Вірогідність відмінностей оцінювали за F-критерієм Fisher та критерієм Вілкоксона.

**Результати та їх обговорення.** Часові показники варіабельності серцевого ритму в стані спокою лежачи у вимірюваних відповідали віковим нормам для здорових молодих чоловіків [1] (табл. 1).

Таблиця 1

**Часові показники BCP ( $M \pm m$ ) у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей після тимчасової оклюзії нижніх кінцівок**

**(В – інтенсивність  $AT_{діаст} + 50$  мм рт.ст.; А -  $AT_{сист} + 50$  мм рт.ст.)**

| Умови   | t-RR, мс    | SDNN, мс  | rMSSD, мс | pNN <sub>50</sub> , % |
|---------|-------------|-----------|-----------|-----------------------|
| Спокій  | 886,7±20,8  | 72,8±5,1  | 63,1±6,9  | 14,1±1,7              |
| В 1 хв  | 902,3±20,1  | 79,1±5,8  | 70,0±6,6  | 16,6±1,8              |
| В 10 хв | 927,4±21,1  | 79,5±5,2  | 77,3±8,2  | 17,1±1,9              |
| В 20 хв | 938,1±20,1* | 83,6±5,8  | 79,9±8,0* | 17,3±1,7              |
| А 1 хв  | 963,6±19,7* | 87,0±5,9* | 91,3±9,1* | 19,5±1,6*             |
| А 10 хв | 960,6±19,7* | 89,2±6,3* | 93,1±9,4* | 19,6±1,7*             |
| А 20 хв | 960,3±19,5* | 91,1±5,9* | 91,2±9,0* | 19,3±1,7*             |

Примітка. \* –  $p < 0,05$  в порівнянні з рівнем у спокої

Після першого оклюзійного впливу у перші 10 хвилин не відбувалось їх зрушення у порівнянні з фоном і тільки на 20-й хвилині відновлення спостерігали вірогідне збільшення  $t$ -RR та  $gMSSD$ . Після другого впливу, що супроводжувався пережиманням артерій, упродовж всіх 20 хвилин реєстрації відбувалось як збільшення по відношенню до фону як  $t$ -RR, так і  $SDNN$ ,  $gMSSD$  та  $pNN_{50}$ .

Аналіз реактивності цих показників виявив, що у найбільшому ступені збільшувався  $gMSSD$ , особливо після другого впливу (рис. 1).

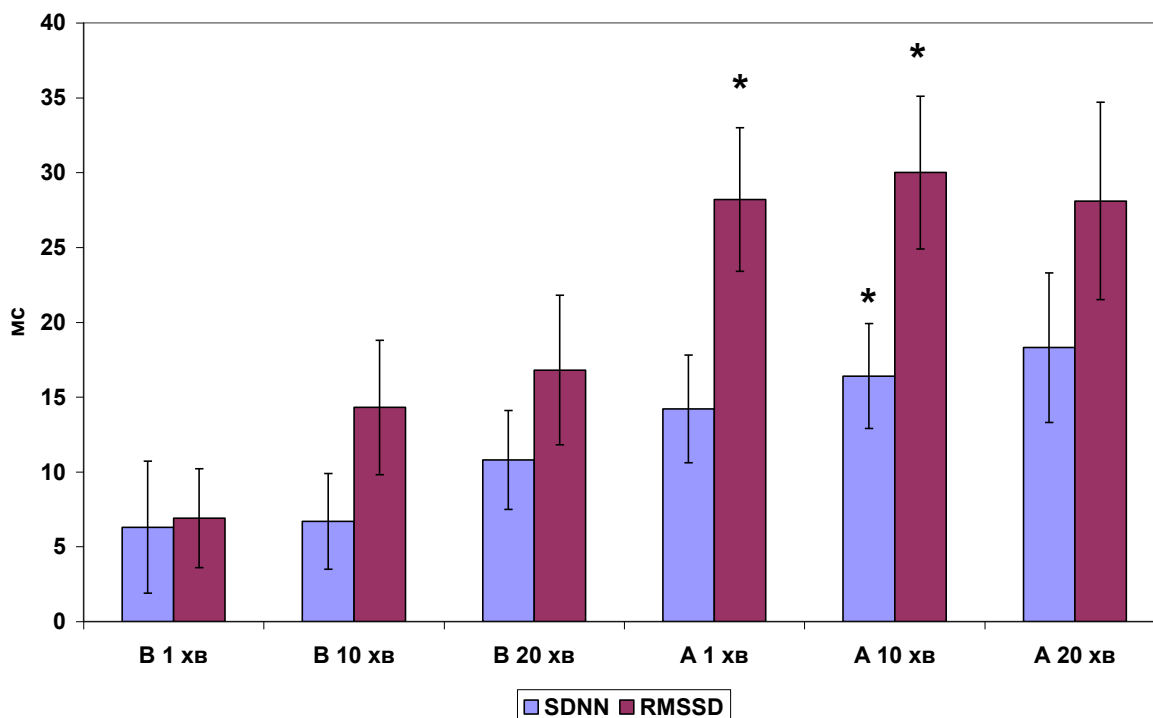


Рис. 1. Реактивність  $SDNN$  та  $gMSSD$  ( $M \pm m$ ) у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей після тимчасової оклюзії нижніх кінцівок (В – інтенсивність  $AT_{діаст} + 50$  мм рт.ст.; А –  $AT_{сист} + 50$  мм рт.ст.). \* –  $p < 0,05$  в порівнянні зі значеннями показника у відповідний період відновлення після першого впливу

Реактивність  $gMSSD$  на 1-й та 10-й хвилинах після другого впливу (відповідно  $28,2 \pm 4,8$  мс та  $30,0 \pm 5,1$  мс) була вірогідно вищою ніж реактивність на 1-й та 10-й хвилинах після першого впливу (відповідно  $14,3 \pm 4,5$  мс та  $16,8 \pm 5,0$  мс). Така ж закономірність характерна і для реактивності  $pNN_{50}$ . Для  $SDNN$  реактивність була вищою тільки на 10-й хвилині після другого впливу у порівнянні з 10-ю хвилиною після першого впливу. Реактивність  $t$ -RR була вищою під час всього періоду реєстрації після 2-го впливу.

Таким чином венозна оклюзія не спричиняла суттєвих зрушень часових показників ВСР, а артеріальна викликала збільшення варіабельності з 1-ї по 10- хвилини відновлення. Найбільшим було зростання  $gMSSD$  як маркера збільшення тону парасимпатичного відділу вегетативної нервової системи.

Аналіз коефіцієнтів варіації реактивності показників ВСР на різні оклюзії показав (табл. 2), що їх рівень був вірогідно вищим на 1-й та 10-й хвилинах після 1-го впливу ніж у відповідні періоди часу після 2-го впливу.

Це може свідчити про наявність більш виражених індивідуальних пристосувань регуляції серцевого ритму при венозній оклюзії у порівнянні з артеріальною.

Показники спектрального аналізу ВСР при експериментальних впливах мали наступну динаміку (табл. 3). Відбувалось збільшення в порівнянні з фоном потужності коливань  $t$ -RR у діапазоні 0,04-0,15 Гц на 10-й хвилині після 1-ї оклюзії та упродовж всього періоду реєстрації після 2-ї. Потужність коливань в діапазоні 0,15-0,4 Гц збільшувалась більш

Таблиця 2

**Коефіцієнти варіації часових показників ВСР ( $M \pm m$ ) у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей після тимчасової оклюзії нижніх кінцівок  
(В – інтенсивність АТ<sub>діаст</sub>+50 мм рт.ст.; А - АТ<sub>сист</sub>+50 мм рт.ст.)**

| Умови   | t-RR, %   | SDNN, %   | rMSSD, %  | pNN <sub>50</sub> , % |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| В 1 хв  | 48,1±7,5  | 70,5±12,9 | 47,0±7,3  | 36,1±5,2              |
| В 10 хв | 21,3±2,9  | 47,6±7,4  | 31,2±4,4  | 35,3±5,1              |
| В 20 хв | 18,0±2,4  | 30,1±4,2  | 29,8±4,2  | 37,8±5,5              |
| А 1 хв  | 10,3±1,3* | 25,2±3,5* | 17,0±2,3* | 20,7±2,8*             |
| А10 хв  | 12,7±1,7* | 21,2±2,9* | 16,9±2,2* | 22,1±3,0*             |
| А 20 хв | 15,9±2,1  | 27,3±3,8  | 23,3±3,2  | 26,9±3,7              |

Примітка. \* –  $p < 0,05$  в порівнянні з відповідним часовим проміжком після першого впливу

інтенсивно з 10-ї хвилини після 1-го впливу. Тому спостерігали зростання  $HF_{norm}$  в більшому ступені вираженого з 1-ї по 10-ту хвилини артеріальної оклюзії.

Це може свідчити про наявність більш виражених індивідуальних пристосувань регуляції серцевого ритму при венозній оклюзії у порівнянні з артеріальною.

Показники спектрального аналізу ВСР при експериментальних впливах мали наступну динаміку (табл. 3). Відбувалось збільшення в порівнянні з фоном потужності коливань t-RR у діапазоні 0,04-0,15 Гц на 10-й хвилині після 1-ї оклюзії та упродовж всього періоду реєстрації після 2-ї. Потужність коливань в діапазоні 0,15-0,4 Гц збільшувалась більш інтенсивно з 10-ї хвилини після 1-го впливу. Тому спостерігали зростання  $HF_{norm}$  в більшому ступені вираженого з 1-ї по 10-ту хвилини артеріальної оклюзії.

Таблиця 3

**Спектральні показники ВСР (Медіана, межі 25 та 75%) у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей після тимчасової оклюзії нижніх кінцівок  
(В– інтенсивність АТ<sub>діаст</sub>+50 мм рт.ст.; А - АТ<sub>сист</sub>+50 мм рт.ст.)**

| Умови   | LF, $mc^2$         | HF, $mc^2$         | $HF_{norm}$ , %       |
|---------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| спокій  | 1203 [826; 2234]   | 840 [453; 1850]    | 40,21 [31,17; 53,19]  |
| В 1 хв  | 1507 [1057; 2415]  | 1154 [715; 2757]   | 43,60 [32,76; 56,53]  |
| В 10 хв | 1719 [831; 2389]*  | 1765 [570; 3151]*  | 47,57 [32,46; 56,55]  |
| В 20 хв | 1622 [1056; 2459]  | 1399 [589; 3476]*  | 46,79 [39,23; 59,61]* |
| А 1 хв  | 1844 [1257; 2522]* | 1816 [1046; 3734]* | 50,27 [38,25; 65,11]* |
| А10 хв  | 2013 [1294; 4000]* | 2170 [949; 3862]*  | 50,75 [35,61; 62,93]* |
| А 20 хв | 1649 [1223; 3268]* | 1689 [976; 4942]*  | 44,31 [32,93; 67,19]* |

Примітка. \* -  $p < 0,05$  в порівнянні з рівнем у спокої

Знайдено, що реактивність HF була вищою після артеріальної оклюзії в порівнянні з відповідними часовими періодами венозної.

Таким чином аналіз змін спектральних показників ВСР показав суттєве збільшення парасимпатичних впливів на діяльність серця при артеріальній оклюзії.

### Висновки

1. Венозна оклюзія не спричиняла суттєвих зрушень часових показників варіабельності серцевого ритму, а артеріальна викликала їх рівня з 1-ї по 10-хвилини відновлення. Найбільшим було зростання rMSSD як маркера збільшення тону парасимпатичного відділу вегетативної нервової системи.
2. Аналіз коефіцієнтів варіації реактивності показників ВСР показав, що їх рівень був вірогідно вищим на 1-й та 10-й хвилинах впливу після венозної оклюзії ніж у

відповідні періоди часу після артеріальної. Це може свідчити про наявність більш виражених індивідуальних пристосувань регуляції серцевого ритму при венозній оклюзії у порівнянні з артеріальною.

3. Аналіз змін спектральних показників ВСР показав суттєве збільшення парасимпатичних впливів на діяльність серця при артеріальній оклюзії.

**Перспективи подальших досліджень.** Вбачаються у з'ясуванні індивідуальних особливостей реактивності показників варіабельності серцевого ритму за різних градацій оклюзії нижніх кінцівок.

#### Список використаної літератури

1. Kovalenko S.O., Kudij L.I., Lutsenko O.I. Peculiarities of male and female heart rate variability // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences. 2013. – Issue 15. – P.17-20
2. Martin PM, Bart RM, Ashley RL, Velasco T, Wise SR. An Overview of Blood Flow Restriction Physiology and Clinical Considerations. Curr Sports Med Rep. 2022 Apr 1;21(4):123-128. doi: 10.1249/JSR.0000000000000948.
3. French C, Robbins D, Gernigon M, Gordon D. The effects of lower limb ischaemic preconditioning: a systematic review. Front Physiol. 2024 Jan 11;14:1323310. doi: 10.3389/fphys.2023.1323310.
4. Rasica L, Inglis EC, Iannetta D, Soares RN, Murias JM. Fitness Level- and Sex-Related Differences in Macrovascular and Microvascular Responses during Reactive Hyperemia. Med Sci Sports Exerc. 2022 Mar 1;54(3):497-506. doi: 10.1249/MSS.0000000000002806.
5. Giovanna M, Solsona R, Sanchez AMJ, Borrani F. Effects of short-term repeated sprint training in hypoxia or with blood flow restriction on response to exercise. J Physiol Anthropol. 2022 Sep 3;41(1):32. doi: 10.1186/s40101-022-00304-1.
6. Zhou L, Gan J, Tan Y, Zhang Y, Bao D, Zhou J. Can lower limb ischemic preconditioning improve aerobic capacity in healthy adults? A systematic review and meta-analysis. Appl Physiol Nutr Metab. 2025 Jan 1;50:1-18. doi: 10.1139/apnm-2024-0456.
7. Brown H, Binnie MJ, Dawson B, Bullock N, Scott BR, Peeling P. Factors affecting occlusion pressure and ischemic preconditioning. Eur J Sport Sci. 2018 Apr;18(3):387-396. doi: 10.1080/17461391.2017.1421712.
8. Norbury R, Grant I, Woodhead A, Patterson SD. Acute hypoalgesic and neurophysiological responses to lower-limb ischaemic preconditioning. Exp Brain Res. 2025 Jan 8;243(1):41. doi: 10.1007/s00221-024-06985-7.
9. Abdul-Ghani S, Fleishman AN, Khaliulin I, Meloni M, Angelini GD, Suleiman MS. Remote ischemic preconditioning triggers changes in autonomic nervous system activity: implications for cardioprotection. Physiol Rep. 2017 Feb;5(3):e13085. doi: 10.14814/phy2.13085. PMID: 28193783; PMCID: PMC5309573.
10. Andrade GN, Rodrigues T, Takada JY, Braga LM, Umeda IIK, Nascimento JA, Pereira-Filho HG, Grupi CJ, Salemi VMC, Jacob-Filho W, Cahalin LP, Mansur AP, Bocchi EA, Nakagawa NK. Prolonged heart rate recovery time after 6-minute walk test is an independent risk factor for cardiac events in heart failure: A prospective cohort study. Physiotherapy. 2022 Mar;114:77-84. doi: 10.1016/j.physio.2021.03.012.
11. Kovalenko, S.A., Kudij, L.I. Heart rate variability in subjects with different respiratory rates. Hum Physiol (2006) 32: 742. doi:10.1134/S036211970606020X

#### References

1. Kovalenko, S. O., Kudij, L. I., & Lutsenko, O. I. (2013). Peculiarities of male and female heart rate variability. Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences, (15), 17–20.
2. Martin, P. M., Bart, R. M., Ashley, R. L., Velasco, T., & Wise, S. R. (2022). An overview of blood flow restriction physiology and clinical considerations. Current Sports Medicine Reports, 21(4), 123–128. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000948>
3. French, C., Robbins, D., Gernigon, M., & Gordon, D. (2024). The effects of lower limb ischaemic preconditioning: A systematic review. Frontiers in Physiology, 14, 1323310. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1323310>
4. Rasica, L., Inglis, E. C., Iannetta, D., Soares, R. N., & Murias, J. M. (2022). Fitness level- and sex-related differences in macrovascular and microvascular responses during reactive hyperemia. Medicine & Science in Sports & Exercise, 54(3), 497–506. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002806>
5. Giovanna, M., Solsona, R., Sanchez, A. M. J., & Borrani, F. (2022). Effects of short-term repeated sprint training in hypoxia or with blood flow restriction on response to exercise. Journal of Physiological Anthropology, 41(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s40101-022-00304-1>
6. Zhou, L., Gan, J., Tan, Y., Zhang, Y., Bao, D., & Zhou, J. (2025). Can lower limb ischemic preconditioning improve aerobic capacity in healthy adults? A systematic review and meta-analysis. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 50, 1–18. <https://doi.org/10.1139/apnm-2024-0456>
7. Brown, H., Binnie, M. J., Dawson, B., Bullock, N., Scott, B. R., & Peeling, P. (2018). Factors affecting occlusion pressure and ischemic preconditioning. European Journal of Sport Science, 18(3), 387–396. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1421712>

8. Norbury, R., Grant, I., Woodhead, A., & Patterson, S. D. (2025). Acute hypoalgesic and neurophysiological responses to lower-limb ischaemic preconditioning. *Experimental Brain Research*, 243(1), 41. <https://doi.org/10.1007/s00221-024-06985-7>
9. Abdul-Ghani, S., Fleishman, A. N., Khaliulin, I., Meloni, M., Angelini, G. D., & Suleiman, M. S. (2017). Remote ischemic preconditioning triggers changes in autonomic nervous system activity: Implications for cardioprotection. *Physiological Reports*, 5(3), e13085. <https://doi.org/10.14814/phy2.13085>
10. Andrade, G. N., Rodrigues, T., Takada, J. Y., Braga, L. M., Umeda, I. I. K., Nascimento, J. A., Pereira-Filho, H. G., Grupi, C. J., Salemi, V. M. C., Jacob-Filho, W., Cahalin, L. P., Mansur, A. P., Bocchi, E. A., & Nakagawa, N. K. (2022). Prolonged heart rate recovery time after 6-minute walk test is an independent risk factor for cardiac events in heart failure: A prospective cohort study. *Physiotherapy*, 114, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2021.03.012>
11. Kovalenko, S. A., & Kudii, L. I. (2006). Heart rate variability in subjects with different respiratory rates. *Human Physiology*, 32, 742. <https://doi.org/10.1134/S036211970606020X>

**Kovalenko S., Dziunyk I., Sych I., Tsyhannyk R..**

## **HEART RATE VARIABILITY DURING TEMPORARY OCCLUSION OF THE LOWER EXTREMITIES IN ATHLETES**

**Introduction.** *Temporary occlusion of the lower extremities is an accessible model of short-term ischemia that allows controlled physiological stress to be reproduced without significant health risks. It is accompanied by the activation of peripheral and central mechanisms of blood circulation regulation, changes in vascular tone, and affects the functioning of the cardiovascular system. Studying the response of heart rate variability to such changes provides an opportunity to gain a deeper understanding of the mechanisms of its adaptation to short-term ischemic influences.*

**Objective.** *To determine the characteristics of heart rate variability indicators at different levels of temporary occlusion of the lower extremities in students majoring in physical education and sports..*

**Methods of the study.** *Measurements were taken on 30 men aged 18-25 years - students of physical education and sports specialties. Occlusive effects were performed on the thighs with a 200 mm wide blood pressure cuff for 3 minutes. The intensity of the first impact was the level of diastolic pressure + 50 mm Hg; the second was the level of systolic pressure + 50 mm Hg. Heart rate variability indicators were recorded and calculated using the Polar Protrainer 5.0 program.*

**Main results of the study.** *Venous occlusion did not cause significant changes in the time indicators of heart rate variability, while arterial occlusion caused changes in these indicators from the 1st to the 10th minute of recovery. The greatest increase was in rMSSD as a marker of increased tone of the parasympathetic division of the autonomic nervous system. Analysis of the coefficients of variation in HRV reactivity showed that their level was significantly higher at 1 and 10 minutes after venous occlusion than in the corresponding periods after arterial occlusion. This may indicate the presence of more pronounced individual adaptations of heart rate regulation during venous occlusion compared to arterial occlusion. Analysis of changes in HRV spectral indicators showed a significant increase in parasympathetic influences on heart activity during arterial occlusion.*

**Scientific novelty of the study results.** *For the first time, a comparative analysis of the effects of short-term venous and arterial occlusion on heart rate variability in healthy individuals - students majoring in physical education and sports - was conducted.*

**Conclusions and specific suggestions of the author.** *The study opens up new opportunities for the differentiated impact of lower limb occlusion on the functional state of individuals engaged in physical culture and sports.*

**Keywords:** *heart rate variability, lower limb occlusion, functional status, athletes*

Надійшла до редакції / Received: 11.11.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.12.2025

UDC 612.8; 612.821

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-2-38-48

**Kateryna Hennadiivna Koval**

Bohdan Khmelnytskyi National University of Cherkasy

[kolybri.777@gmail.com](mailto:kolybri.777@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2920-2343>

**Serhii Mykolaiovych Khomenko**

Bohdan Khmelnytskyi National University of Cherkasy

[skhomenko@ukr.net](mailto:skhomenko@ukr.net)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0918-8735>

**Liliia Ivanivna Yukhymenko**

Bohdan Khmelnytskyi National University of Cherkasy

[liyukhimenko@ukr.net](mailto:liyukhimenko@ukr.net)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4455-6233>

## COMPARATIVE ANALYSIS OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL ADAPTATION LEVELS AMONG UKRAINIAN AND SPANISH STUDENT YOUTH

**Relevance.** Psychophysiological adaptation is regarded as an integral process of maintaining vitality, serving as a foundation for both health and organism functioning. An adequate level of psychophysiological adaptation is essential for successful academic achievement and social, professional, and university life, and is therefore relevant to all learners, regardless of their nationality or the country in which they study. So far, the most researched aspects of adaptation in education are social, mental, and psychological. However, psychophysiological components of adaptation in educational environments remain insufficiently understood. This issue is especially relevant in Ukraine, where students must endure martial law conditions, chronic stress, frequent air raid alerts, changes in learning formats, and increased information loads.

Contemporary research confirms the negative impact of these factors on the mental and physiological states of young students. It is therefore important that comparative analysis of the psychophysiological adaptation levels of higher education students in Ukraine (who must defend themselves against Russia's unprovoked full-scale invasion) and Spain (where students live in peaceful conditions) may help to establish the threshold for physiological mechanisms, beyond which maladaptation processes commence. This could facilitate the development of new approaches to planning academic workloads and educational trajectories, enhance intersystem connections of the organism as a basis for life, and reduce the risk of unwanted psycho-neurological states.

**The aim of the study** was to determine the features of psychophysiological adaptation (PA) among young students in Ukraine and Spain, to carry out a comparative analysis of their adaptive processes' levels, and to develop practical recommendations for improvement.

**Materials and Methods.** To assess levels of psychophysiological adaptation (PA), an original computer programme "Integral Assessment of Human Psychophysiological Adaptation" (CP IAHPA) was utilised. This involved evaluating psychological and physiological indicators: reactive (RA) and personal (Pers.A) anxiety; vestibular function (VF) via the sensitising Romberg test; the tapping test (TT) by Ilin; heart rate (HR) via photoplethysmography; systolic (SBP) and diastolic (DBP) blood pressure; psycho-emotional colour (CP) and sound perception (SP). Statistical processing of the obtained data was performed using MS Excel 2010 software.

**Results.** A strong negative correlation was found between PA level and RA, Pers.A, HR, SBP, DBP. Ukrainian students were found to have a higher proportion of individuals with low and critically low levels of PA, which was associated with increased RA, Pers.A, poorer VF, TT, CP, and SP compared to Spanish students ( $p < 0.001$ ). The strong negative correlation between PA level and RA, Pers.A, HR, SBP, and DBP were confirmed.

**Conclusions.** *The lower PA among Ukrainian students compared to Spanish ones is associated with martial law, which has imposed chronic stress combined with intensive academic workload, sleep deprivation, unhealthy habits, and poor diet. The obtained results provided a foundation for a range of practical recommendations for psychological assistance and optimising the educational environment during war and in the post-war period.*

**Keywords:** *psychophysiological adaptation, stress resistance, anxiety, stress, student youth.*

**Introduction.** The problems of psychophysiological adaptation, stress resistance, and the ability of student youth to obtain higher education in today's academic activity context are of great interest to both Ukrainian and international researchers [1, 5, 8, 12]. The relevance has grown particularly in Ukraine due to the rapid increase in social-psychological stress following Russia's full-scale unprovoked invasion. Since February 2023, Ukrainian students have experienced constant factors such as frequent lengthy air raid alarms, direct threats to life and health, chronic sleep deprivation, all combined with a high pace of education, significant intellectual loads, changes in learning formats (including remote and blended learning), and strict academic requirements.

There is no doubt that the level of psychophysiological adaptation of student youth is critically important for academic and professional success and for maintaining physical, mental, and psychological health [1, 4, 5]. Under conditions of martial law, more than three years of chronic stress, and increased information pressures, the problem of adaptation is of particular urgency for Ukrainian students [1,8].

Global experience confirms the significant impact of stress and anxiety not only on cognitive but also on physiological functions (Alhawari et al., 2023 [2]; Holubnychy et al., 2022 [5]; Juan Camilo Benítez-Agudelo et al., 2025 [8]). It is known that chronic anxiety and real threats cause dysregulation in the autonomic nervous system and motor sphere (Heimhofer et al., 2024 [4]), as well as poorer psychoemotional states and reduced performance among students (Ołpińska-Lischka et al., 2021 [3]; Mozolev, 2023 [6]).

Comparing Ukrainian higher education students with their Spanish counterparts offers a unique opportunity to evaluate the extent to which chronic extreme stress affects the real psychological and physiological adaptation mechanisms in young people. Effective psychophysiological adaptation is an integrated indicator of a person's ability to overcome distress factors and maintain a balance between inner reserves and the external demands of the educational process [4, 7, 11]. Impairment of adaptation poses a risk of chronic stress development, increased anxiety, neurological and somatic disorders, and reduced academic performance and socialisation [5,9,6].

Despite numerous studies on adaptation processes among young people during the study [5, 7, 15], the literature does not report comparative analyses of psychophysiological adaptation between Ukrainian students and those from other nations under the contemporary realities of the educational process, where Ukrainians face subjectively and objectively more complex conditions linked to martial law. Therefore, researching key factors that determine student adaptation in different countries, including under full-scale invasion and chronic stress, is highly relevant and valuable for understanding physiological and psychological life mechanisms. Such insights may expand the foundations of understanding psychophysiological traits, potential causes of adaptation disorders, and help develop rehabilitation approaches and preventive strategies against pathological states induced by chronic stress [1, 8].

**Statement of the problem and purpose of the study.** In recent years, there has been growing interest in research on student psychophysiological adaptation in the context of educational, war-related, and migration stressors [5, 6, 7, 8]. Many works by both Ukrainian and international scholars are devoted to the study of psychophysiological adaptation, stress impact, and stress resistance. Notable modern authors include M. Makarenko, M. Makarchuk, V. Lysohub, L. Yukhymenko, S. Khomenko, O. Kokun, L. Holubnychy, H. Alhawari, C. Heimhofer, J.C. Benitez-Agudelo, and others.

Psychophysiological adaptation is understood as the dynamic process by which the human organism adjusts to new or altered environmental conditions, coordinating nervous, endocrine, and other physiological systems with psychological mechanisms regulating behaviour [5, 12]. New, extreme, or changed environments are perceived by the organism as stress. According to the literature, stress is a state arising in response to adverse factors (stressors) and accompanies mobilisation of psycho-somatic and functional protective and adaptive mechanisms [5, 7, 12, 17]. Stress is most often associated with increased anxiety – a negative emotional state triggered by anticipating danger or uncertainty, characterised by tension, worry, various physiological symptoms across organs and systems, and direct influences on the cognitive sphere [1, 2, 4, 8].

The concept of stress resistance closely correlates with psychophysiological adaptation. Stress resistance is considered a set of individual traits and personal characteristics that provide effective regulation of emotional states and minimise the negative impact of stressors on the human organism [8, 12].

An analysis of recent scientific studies indicates that chronic stress and anxiety have a powerful impact on the psychophysiological state of young students. [2, 8, 9]. During the COVID-19 pandemic and especially following Russia's full-scale invasion of Ukraine, rates of anxiety, stress, and prevalence of cardiovascular, autonomic, and cognitive disorders have significantly increased – most notably among students pursuing higher education [12, 14, 15].

Research by Spanish and other foreign scientists confirms that the educational environment itself is a source of stress for students due to the intensity of study programs, high competition, and frequent changes in study requirements [3, 13]. Empirical studies show that individual differences in students' stress resistance, reactive and personal anxiety, performance, and the regulatory function of the autonomic nervous system determine their success in adapting to academic activities [4, 7, 11].

Holubnycha et al. (2022) emphasize that the adaptation of foreign students to a new sociocultural environment is accompanied by potential psychophysiological changes, among which increased anxiety and sleep disturbances occupy a special place [5]. Alhawari et al. (2023) investigated the effect of exam stress on cardiovascular indicators and proved that increased anxiety is accompanied by an increase in heart rate and changes in blood pressure [2]. Vergelec T. (2022) notes that distance / online learning contributes to a decrease in social support and an increase in stress and anxiety levels [7]. Heimhofer et al. (2024) and J.C. Benítez-Agudelo et al. (2025) emphasize the negative impact of anxiety on motor performance, coordination, and reactivity in the tapping test of young people from different countries [4, 8].

The authors' research results indicate that in conditions of extreme events (war, epidemics, forced population migration, etc.), psychophysiological adaptation resources are depleted much faster [1, 5, 13]. The reserves of adaptive capabilities were found to be particularly weakened among Ukrainian student youth currently living in a country that is undergoing a full-scale invasion and constant exposure to the negative factors caused by it [1, 10, 12].

Ukrainian and foreign scientists have demonstrated in their studies that anxiety, sleep disturbances, destabilization of somatic functions, and decreased cognitive potential are associated with the risk of developing disadaptation and even psychosomatic disorders [1, 4, 9, 15]. Mozolev (2023), in a large-scale analysis of Ukrainian student youth, demonstrates a trend toward deterioration in physiological and psychological indicators for the period 2020–2023, especially during a full-scale invasion [6].

Thus, the work of modern scientists confirms the importance of studying the psychophysiological adaptation mechanisms of students as a complex integrative phenomenon that is formed under the influence of a number of external and internal factors.

**The purpose of our research** was to compare and characterize the peculiarities of psychophysiological adaptation of higher education students in Ukraine and Spain. In accordance with the stated goal, the main tasks of the work were:



- to conduct a comparative analysis of the features of psychophysiological adaptation of student youth in Ukraine and Spain, to establish the levels of psychophysiological adaptation in the conditions of educational activity and to identify the main differences;
- to identify the leading factors that influence the psychophysiological adaptation of student youth in the learning process, taking into account chronic stress, trigger factors (death of a loved one due to military operations, air raid alarms, change of residence, etc.) and individual psychophysiological indicators;
- develop practical recommendations for appropriate rehabilitation measures.

**Organisation and methods of the study.** The study was conducted during 2024-2025. Data collection in Spain was carried out as part of the Erasmus+ KA171 international mobility program for PhD students. The total number of respondents was 180 practically healthy (without chronic diseases) higher education students of 1st-4th courses (90 Ukrainians and 90 Spaniards), aged 17-28, of both sexes. The collection of factual data in Spain was carried out at the Faculty of Nursing of the University of Valladolid (Castile and León). Among the respondents from Ukraine, the study included students of various specialties from the educational and scientific institutes of Physical Culture, Sports and Health (non-athletes), International Relations, History and Philosophy, and the faculties of Computer Engineering, Intelligent and Control Systems, and Psychology.

In accordance with the set purpose, the individual level of psychophysiological adaptation (PA) was determined using our proprietary computer program “Integral Assessment of Human Psychophysiological Adaptation” (CP IAHPA) with the use of computerized diagnostic tests. For this purpose, the following psychophysiological indicators of reactive (RA, points) and personal (Pers.A, points) anxiety were measured using the Spielberger-Khanin scale [16], vestibular function (performance of the Romberg sensitization test, VF, sec), tapping test (modernized computerized version of Ilin test, TT, signs/sec), HR (by photoplethysmography, HR, bpm), systolic and diastolic pressure (SBP and DBP, respectively, mm Hg), color and sound perception (CP, SP, conditional units – c.u.) [10]. The CP IAHPA allowed for a multicomponent assessment of the psychophysiological adaptation of the study participants, avoiding routine operations of long-term processing of primary data due to special mathematical calculation methods, made it possible to take into account the degree of psycho-emotional perception, the probable reactivity of the body to stressful situations, and contributed to the formation of an idea about the neurological status of the examinee. [9]

The individual PA level of each participant was calculated automatically by the program in conditional units (c.u.). According to the program algorithm, it was possible to distinguish four PA levels: high (56.00–70.00 c.u. and above), medium (49.00–55.99 c.u.), low (40.00–48.99 c.u.), and critically low (30.00 and below – 39.99 c.u.). Based on the analyzed indicators, a final conclusion and individualized probable prognosis of the psychophysiological state of each examined person were automatically generated. At the end of the examination, the CP IAHPA provided general recommendations for each of the possible PA levels regarding the optimization of a person's psychophysiological status and probable ways to achieve them.

The processing and analysis of the research results were carried out using descriptive parametric statistics with the MS Excel 2010 software package. Since the obtained data followed the normal distribution law (Shapiro-Wilk test), we used Pearson's correlation analysis. The reliability of changes and differences between the compared values was assessed using Student's t-test. Differences were considered statistically significant at  $p \leq 0.05$ .

The study complied with the requirements of the Helsinki Declaration (1975, 1996-2013) with the voluntary informed written consent of each volunteer participant. The results of the study were used anonymously for scientific purposes only.

**The results of the study and their discussion.** We conducted a study of psychophysiological indicators in Ukrainian and Spanish sampling groups (Table 1).

Table 1.

Quantitative values of the studied psychophysiological indicators of higher education students in Ukraine and Spain (mean  $\pm$  SD)

| Indicator      | Groups of study participants |                  | Student's t-test | p-value |
|----------------|------------------------------|------------------|------------------|---------|
|                | Ukrainians                   | Spaniards        |                  |         |
| RA, points     | 46.2 $\pm$ 8.7               | 37.1 $\pm$ 7.5   | 6.81             | <0.001  |
| Pers.A, points | 57.6 $\pm$ 8.5               | 45.0 $\pm$ 7.6   | 6.87             | <0.001  |
| HR, bpm        | 110.2 $\pm$ 11.4             | 91.3 $\pm$ 12.5  | 8.81             | <0.001  |
| TT, signs/sec  | 3.64 $\pm$ 0.57              | 5.09 $\pm$ 0.71  | -13.0            | <0.001  |
| VF, sec        | 2.09 $\pm$ 0.73              | 7.21 $\pm$ 4.52  | -12.2            | <0.001  |
| SBP, mm Hg     | 146.1 $\pm$ 10.5             | 122.7 $\pm$ 10.6 | 12.8             | <0.001  |
| DBP, mm Hg     | 98.2 $\pm$ 7.1               | 80.0 $\pm$ 7.3   | 13.4             | <0.001  |
| CP, c.u.       | 0.71 $\pm$ 0.14              | 1.18 $\pm$ 0.26  | -14.1            | <0.001  |
| SP, c.u.       | 0.57 $\pm$ 0.14              | 1.02 $\pm$ 0.21  | -15.2            | <0.001  |

Notes: mean – average value; SD – standard deviation; p-value – level of significance of differences  $p < 0.001$

As can be seen from the table, the average values of the groups of research participants we studied differed significantly from each other. It is noteworthy that Ukrainian student youth had significantly higher RA, Pers.A, HR, SBP, and DBP values and, at the same time, relatively lower TT, VF, CP, and SP values ( $p < 0.001$ ).

These results suggest that there is a risk of developing disorders in the adaptive mechanisms that have developed under the influence of stress. It should be noted that we found similar tendencies in the works of J. C. Benítez-Agudelo et al. (2025), which proved the negative impact of constant stress and sleep disorders on HR, blood pressure, and anxiety levels, as well as on the academic performance of students [8]. Similar negative trends in psychophysiological status are described in the publications of Herber et al. (2025), who emphasize that prolonged stress and emotional dysregulation cause significant changes in cardiac activity and difficulties in the learning process [15].

We divided the participants in each sampling group according to their PA levels (Fig. 1). As can be seen from the figure, the proportion of individuals with critically low and low PA levels in the Ukrainian sample was significantly higher than that among Spanish students ( $p < 0.05$ ). At the same time, among the contingent of surveyed young people in Spain, the number of individuals with medium and high PA levels was significantly higher than among Ukrainian students ( $p < 0.05$ ). In addition, the surveyed Spanish higher education students did not form a group with critically low PA level, as extremely low psychophysiological indicators were found in only one person. This once again confirms that the significant tendency of the Ukrainian sample towards low and critically low PA levels may be associated with high levels of chronic stress caused by the full-scale military invasion of the country.

It is likely that chronic stress, constant anxiety, psychological tension, and worry about one's own life and future against the backdrop of the overall intensity of the educational process were the main triggers for the large proportion of students with critically low and low PA levels in the Ukrainian sample. The literature contains data consistent with our results [1, 4, 12].

For a more detailed study of the psychophysiological characteristics of the groups we surveyed in both countries, we conducted a comparative analysis of their PA indicators (Table 2).

It should be noted that all indicators followed the normal distribution law in each of the samples, which is confirmed by the Shapiro-Wilk normality test ( $P > 0.05$ ). The obtained results show that in Ukrainian students, most of the studied indicators (RA, Pers.A, HR, SBP, DBP, TT, VF) were significantly higher in individuals with low PA levels than in a similar group of Spanish participants. The CP and SP indicators also showed a clear tendency toward reduced color and sound perception properties in Ukrainian students compared to Spanish students.

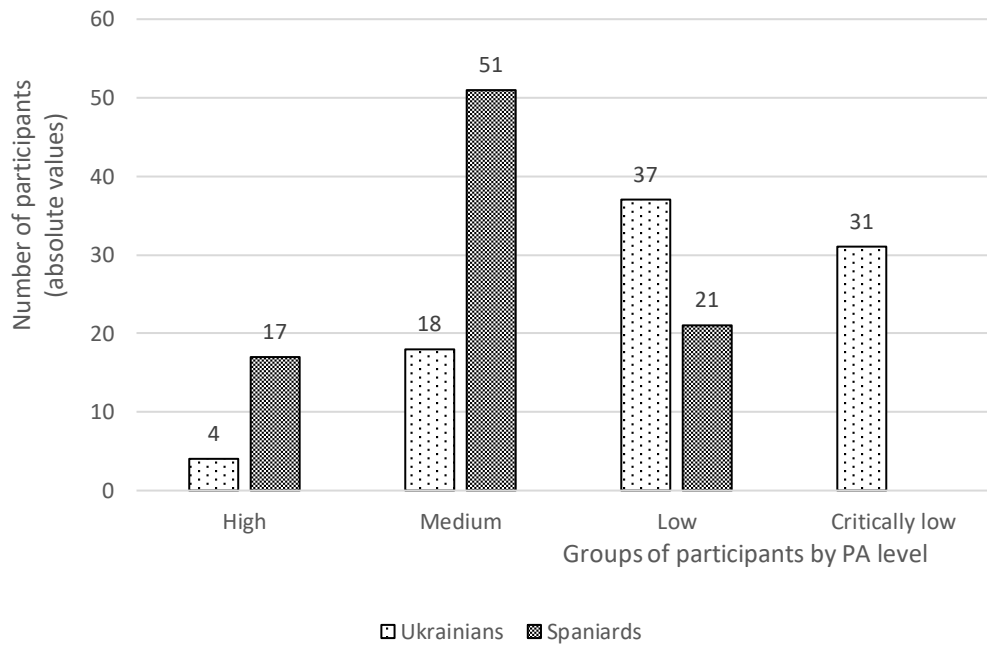


Fig. 1. Quantitative distribution of study participants by PA levels; \* - significance of differences  $p \leq 0.05$ .

Table 2.

Indicators of the studied parameters of the student youth of Ukraine and Spain with different levels of PA (mean  $\pm$  SD)

| Indicator      | Levels of psychophysiological adaptation of the study participants |                   |                  |                  |
|----------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|
|                | High                                                               | Medium            | Low              | Critically low   |
| Ukrainians     |                                                                    |                   |                  |                  |
| RA, points     | 32.5 $\pm$ 4.9                                                     | 38.3 $\pm$ 6.1    | 44.6 $\pm$ 5.4*  | 53.8 $\pm$ 7.6*  |
| Pers.A, points | 42.2 $\pm$ 5.7                                                     | 48.9 $\pm$ 5.0    | 57.9 $\pm$ 3.1*  | 65.2 $\pm$ 4.9*  |
| HR, bpm        | 91 $\pm$ 2.9                                                       | 97 $\pm$ 4.9      | 107 $\pm$ 8.3*   | 116 $\pm$ 7.2*   |
| TT, signs/sec  | 5.12 $\pm$ 0.15                                                    | 4.61 $\pm$ 0.34   | 3.94 $\pm$ 0.28* | 3.20 $\pm$ 0.17* |
| VF, sec        | 3.13 $\pm$ 0.29                                                    | 2.61 $\pm$ 0.45   | 2.00 $\pm$ 0.41  | 1.52 $\pm$ 0.28  |
| SBP, mm Hg     | 132 $\pm$ 6                                                        | 138 $\pm$ 5       | 146 $\pm$ 8*     | 155 $\pm$ 7*     |
| DBP, mm Hg     | 86 $\pm$ 2                                                         | 90 $\pm$ 3        | 97 $\pm$ 5*      | 107 $\pm$ 4*     |
| CP, c.u.       | 0.98 $\pm$ 0.10                                                    | 0.89 $\pm$ 0.14   | 0.75 $\pm$ 0.11* | 0.60 $\pm$ 0.09* |
| SP, c.u.       | 0.87 $\pm$ 0.06                                                    | 0.80 $\pm$ 0.15   | 0.62 $\pm$ 0.11* | 0.44 $\pm$ 0.11* |
| Spaniards      |                                                                    |                   |                  |                  |
| RA, points     | 34.3 $\pm$ 4.1*                                                    | 36.8 $\pm$ 4.9*   | 41.9 $\pm$ 6.2   | -                |
| Pers.A, points | 39.3 $\pm$ 3.8*                                                    | 42.1 $\pm$ 4.1*   | 46.1 $\pm$ 5.2   | -                |
| HR, bpm        | 84.2 $\pm$ 3.7*                                                    | 87.1 $\pm$ 5.1*   | 89.7 $\pm$ 7.0   | -                |
| TT, signs/sec  | 5.61 $\pm$ 0.22*                                                   | 5.33 $\pm$ 0.42*  | 5.08 $\pm$ 0.38  | -                |
| VF, sec        | 14.32 $\pm$ 3.98*                                                  | 11.12 $\pm$ 4.21* | 6.53 $\pm$ 2.84  | -                |
| SBP, mm Hg     | 123.3 $\pm$ 7.9*                                                   | 127.2 $\pm$ 8.2*  | 124.2 $\pm$ 7.4  | -                |
| DBP, mm Hg     | 76.0 $\pm$ 2.9*                                                    | 78.4 $\pm$ 3.8*   | 77.3 $\pm$ 3.2   | -                |
| CP, c.u.       | 1.52 $\pm$ 0.20*                                                   | 1.48 $\pm$ 0.19*  | 1.44 $\pm$ 0.14  | -                |
| SP, c.u.       | 1.38 $\pm$ 0.18*                                                   | 1.31 $\pm$ 0.16*  | 1.21 $\pm$ 0.19  | -                |

Note: \* - significance of differences  $p \leq 0.05$  compared to the similar level of Spaniards.

Our results are consistent with those of Heimhofer et al. (2024), who showed that even minimal changes toward increased chronic stress cause a decrease in sensorimotor reaction speed in

young people [4]. At the same time, Alhawari et al. (2023) emphasize the relationship between anxiety and increased blood pressure and heart rate in medical students (especially during the exam period) [2], which confirms the relevance of the results obtained in Ukrainian students.

This probably indicates that Ukrainian students are in a more severe degenerative psychophysiological state, manifested in increased personal anxiety, decreased sensory-motor reactivity, increased heart rate, and higher blood pressure. This may be the result of constant exposure to chronic stress caused by the conditions of martial law. Similar data were obtained by Holubnychy et al. (2022) [5] and the results of sociological surveys in Ukraine [13].

Thus, it should be assumed that adaptation mechanisms are extremely sensitive to the effects of stress. We emphasize that the insufficient psychophysiological adaptation of Ukrainian students was most evident in the group of individuals with low PA levels, meaning that they were overly sensitive to the effects of chronic psychosocial stress. This confirms the hypothesis of the direct influence of martial law conditions and related anxieties against the backdrop of academic stress during higher education and the existence of additional psychogenic factors that affect the physiological and mental status of students. This probably played a significant role in the prevalence of low and critically low PA levels among Ukrainian students. At the same time, the large majority of Spanish students had average PA levels, and a significantly higher number of respondents had high PA levels.

To identify and verify the strength of the relationship between the studied psychophysiological indicators and the PA level, determine the degree of reliability and the psychophysiological parameters that most influence the PA level, we used correlation analysis (Table 3).

The results of the correlation analysis showed that Ukrainian higher education students had significantly worse scores on all psychophysiological indicators studied compared to their Spanish peers. Particular attention is drawn to the established and dense negative correlation between PA level and anxiety indicators (RA, Pers.A), HR, and SBP, which emphasizes the “interdependence” of the psychological and physiological properties of the body in adaptive changes under conditions of chronic stress. Thus, correlation analysis showed that the lower the PA level, the higher the anxiety, the level of functioning of the cardiovascular system (HR, blood pressure), and the greater the indicators of sensory-motor reactivity.

Table 3.

Correlation analysis of indicators of studied higher education participants in Ukraine and Spain

| Indicators               | Groups of study participants |         |             |         |
|--------------------------|------------------------------|---------|-------------|---------|
|                          | Ukrainians                   |         | Spaniards   |         |
|                          | r (Pearson)                  | p-value | r (Pearson) | p-value |
| TT, signs/sec. – PA c.u. | 0.62                         | <0.05   | 0.52        | <0.05   |
| VF, sec. – PA c.u.       | 0.59                         | <0.05   | 0.47        | <0.05   |
| RA, points – PA c.u.     | -0.74                        | <0.01   | -0.64       | <0.01   |
| Pers.A, points – PA c.u. | -0.64                        | <0.01   | -0.58       | <0.01   |
| HR, bpm – PA c.u.        | -0.65                        | <0.05   | -0.48       | <0.05   |
| SBP, mm Hg – PA c.u.     | -0.61                        | <0.05   | -0.43       | <0.05   |
| DBP, mm Hg – PA c.u.     | -0.56                        | <0.05   | -0.36       | <0.05   |
| CP, c.u. – PA c.u.       | 0.49                         | <0.05   | 0.37        | <0.05   |
| SP, c.u. – PA c.u.       | 0.41                         | <0.05   | 0.33        | <0.05   |

Notes: r – correlation coefficient (Pearson); p-value – level of significance of differences.

The established relationships confirm that the lower the level of adaptation, the more sensitive a person becomes to stressful events, which activates the heart and brain, creating the risk of autonomic imbalance. The results of the survey of modern youth demonstrate that psycho-emotional and cognitive overload, chronic stress, and constant anxiety can determine the quality of psychophysiological adaptation. At the same time, the positive correlations between TT, VF, CP, and SP indicators and the PA level ( $p < 0.05$ ) indicate a situation that is dangerous for life. After all,

the quantitative values of these psychophysiological indicators in Ukrainians were critically lower compared to the Spanish sample [9, 11, 13, 14].

As can be seen, anxiety (RA, Pers.A) had the greatest influence on the formation of the level of psychophysiological adaptation, where the degrees of correlation with PA were the highest, as well as the functional capabilities of the heart (HR, SBP). A significant role in the adaptation processes was played by a person's ability to maintain body balance and space orientation, sensory-motor reactivity (TT, VF). At the medium density level, there were connections between PA and the ability to perceive colors and sounds as a reflection of a human's formed stable emotional and personal associations, which signal self-confidence, self-satisfaction, belief in one's abilities, sensitivity to external influences, etc. [18].

The authors confirm that a decrease in adaptive reserves during chronic stress is associated with the disorganization of brain homeostasis, an imbalance in autonomic regulation of functions, and impaired sensory processing (color and sound perception), which, according to current understanding, leads to an increased risk of developing anxiety, depressive, and neurotic disorders and entropy in students [4, 9, 12, 15, 17]. The authors report that the most significant contribution to the formation of PA levels is provided by indicators of anxiety, heart rate, blood pressure, TT, and VF (Alhawari et al., 2023 [2]; Heimhofer et al., 2024 [4]).

Thus, our results confirm significant changes in the psychophysiological adaptation of Ukrainian higher education students under the influence of chronic stress caused by the state of war in the country and the associated anxiety, prolonged anticipation of danger, and unpredictable situations, combined with high academic demands, blended and distance learning formats, large volumes of educational material, an intense pace of study, and highly complex academic material.

Along with increased anxiety about their lives and the safety of their loved ones, chronic sleep deprivation, possible manifestations of irrational nutrition, frequent cases of excessive consumption of tonic drinks, energy drinks, and an increase in harmful habits among modern students in both countries can provoke a significant decrease in PA levels, the development of various negative psychological and physiological complications and diseases (Koval et al., 2025 [1]; Mozolev, 2023 [6]; Juan Camilo Benítez-Agudelo et al., 2025 [8]). Stress contributes to an increase in reactive and personal anxiety, inadequate sensory-motor reactivity, deterioration of vestibular function, increased heart rate, and a decrease in psycho-emotional perception mechanisms [2-5, 8].

The data from our study indicate the existence of dangerous levels of anxiety among Ukrainian students, which are significantly higher than those of their Spanish peers. This was revealed in the significantly worse PA levels of Ukrainian youth ( $p < 0.001$ ) across all psychophysiological indicators we examined. The results of our work are consistent with the works of other scientists, in particular L. Holubnych et al., 2022 [5], Belov et al., 2020 [15], J.C. Benítez-Agudelo et al., 2025 [8]. Therefore, this situation requires targeted support and rehabilitation measures that can prevent the predicted increase in cases of stress disorders, emotional response disorders, or exacerbations of chronic diseases.

In our opinion, the introduction of such innovative monitoring measures for PA, which we conducted in our study and propose to implement periodically during university education, can contribute to the optimization of functional status, improvement of mental hygiene, psychological support, and social adaptation of students, especially in the context of such extreme situations accompanying the state of war in the country.

We have developed recommendations for rehabilitation measures aimed at improving the PA level of Ukrainian youth and enhancing their mental and physical health. These include the following activities:

- *Information support*
  - conducting regular training sessions on developing stress resistance;
  - creating information stands and leaflets on psychological self-help and stress recognition.

- *Psychological consultation and support*
  - expanding consulting assistance provided by university psychologists;
  - introducing support groups for students who have experienced acute stress / trauma.
- *Training sessions on developing emotional intelligence and self-regulation.*
  - conducting master classes on relaxation and meditation techniques;
  - teaching anxiety management methods.
- *Physical activity and a healthy lifestyle*
  - encouraging students to join sports clubs based on their interests or group fitness classes, aerobics, yoga, etc;
  - supporting programs for establishing healthy sleep and eating habits.
- *Social support and creation of a safe environment.*
  - development of student self-government and communication clubs;
  - organization of leisure activities and creative projects to strengthen social cohesion.
- *Monitoring and evaluation of PA*
  - regular psychophysiological diagnostics for timely identification of risk groups;
  - provision of individual recommendations based on monitoring results.

Thanks to a systematic approach and the implementation of the above measures, a gradual decrease in anxiety levels, increased stress resistance, and improved overall PA among students is predicted.

**Conclusions.** Our research revealed significant differences in the levels of psychophysiological adaptation among higher education students in Ukraine and Spain:

1. A significantly higher part of individuals with low PA levels were found among Ukrainians. They are characterized by high anxiety and significantly worse VF, TT, CP, and SP scores compared to Spaniards ( $p \leq 0.05$ ).
2. It was found that the main factors determining PA level are RA, Pers.A, HR, SBP, DBP (a direct negative correlation  $r$  from -0.56 to -0.74,  $p < 0.05$ -0.01), as well as TT and VF (direct positive correlation  $r$  0.59-0.62,  $p < 0.05$ ).
3. In the Ukrainian sample, low PA level are directly related to chronic stress caused by war, air raid alerts, and excessive psychological stress combined with an intensive learning process, significant amounts of academic material, and intense mental activity. The combination of a number of factors causes low PA among students and requires urgent and immediate action to improve mental and physical health, as well as the development of new ways and methods to prevent and rehabilitate psychophysiological disorders and complications, reduce anxiety levels, and increase PA.
4. Practical recommendations have been developed for rehabilitation measures aimed at improving the PA level of students, including information, psychological, and social support, systematic monitoring and assessment of PA, training in emotional intelligence, self-regulation, and increasing physical activity and leading a healthy lifestyle.
5. The use of the CP IAHPA can be useful in preventive psychophysiological testing of students, identifying individuals who need individual support, and increasing the diagnostic informativeness of monitoring psychophysiological functions.
6. The results of the study can be used to develop programs to support, preserve, and improve the mental health of students in both countries, especially Ukraine, in order to optimize the educational environment during the war and post-war period.

#### Список використаної літератури

1. Koval K.H., Khomenko S.M., Yukhymenko L.I. EEG-correlates of anxiety of student youth in the realities of the extreme situation of martial law. *Bulletin of Cherkasy national university*. 2025. №1. P. 4–13.
2. Alhawari H. et al. Comparison of Baseline and Test Day Cardiovascular Parameters, Anxiety Scores and Coffee Consumption Among Medical Students Undergoing Objective Structured Clinical Examinations in Jordan. *International Journal of General Medicine*. 2023. №116. P 4249–4256.

3. Olpińska-Lischka M. et al. Differences in the Effect of Sleep Deprivation on Postural Stability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. V. 18. №7.
4. Heimhofer C. Ta in. Finger-specific effects of age on tapping speed and motor timing. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2024. P.1-9.
5. Holubnych L., Matsapura L., Miroshnik L., Hetmanets I., Kovalchuk O., Khodakovska O. Psychophysiological Adaptation of International Students to Learning Abroad. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 2022. V. 5. №1. P. 37-46.
6. Мозолєв О. Моніторинг стану фізичного здоров'я студентської молоді: порівняльний аналіз (2016–2023 рр.). *Scientific journal "Physical culture and sport: scientific perspective"*. 2023. P. 50-64.
7. Vergeles T., Serheta I. Features of psychophysiological adaptation of students under the conditions of the remote (on-line) format of the organization of educational. IV International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Empirical Scientific Research: Concept and Trends» 2022. Oxford, UK. P. 123-124.
8. Benítez-Agudelo J.C., Restrepo D., Clemente-Suárez V.J. Gender differences in psychophysiological responses to stress and academic performance: The role of sleep, anxiety, and Heart Rate Variability. *Physiology and Behavior* . 2025. №299. P. 1-8.
9. Коваль К.Г. Розробка комп'ютеризованого методу інтегральної оцінки психофізіологічної адаптації людини. Збірник матеріалів міжнародної наукової інтернет-конференції: Світ наукових досліджень. Вип. 40. Біологічні науки. 2025. Тернопіль-Ополе. Електронне джерело: <https://www.economy-confer.com.ua/full-article/6205/>.
10. Комп'ютерна програма «Інтегральна оцінка психофізіологічної адаптації людини» : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №139404, Україна : УкрНДІБІ; заявл. 09.09.2025, опубл. 31.10.2025, Бюл. № 94.
11. Koval K.H., Khomenko S.M. Characteristics of students' anxiety under the conditions of martial law: psychophysiological content. The collection contains the materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the Educational and Scientific Institute of Physical Culture, Sports and Health of Cherkasy National University of Bohdan Khmelnytskyi November 27-28. Cherkasy – Kyiv. 2024. P. 153–154.
12. Коваль К.Г., Хоменко С.М., Юхименко Л.І. Психофізіологічні основи поняття стресостійкості людини. Mechanisms of Development of the Scientific and Technical Potential of Modern Society: Proceedings of the XL International scientific and practical conference. 2024.Salzburg. P. 29-31.
13. Stressful conditions of the population of Ukraine in the context of war: the results of an all-Ukrainian survey. Official site of Sociological Association of Ukraine. 2025. Retrieved from <https://sau.in.ua/research/stresovi-stany-naseleennya-ukrayiny-v-konteksti-vijny-rezultaty-vseukrayinskogo-opytuvannya/>
14. Benítez-Agudelo J.C., Restrepo D. et al. Longitudinal effects of stress in an academic context on psychological well-being, physiological markers, health behaviours and academic performance in university students. *BMC Psychology*. 2025. №13:753. P. 1-14.
15. Herber Caroline L.M., Breuninger C., Tuschen-Caffier B. Psychophysiological stress response, emotion regulation and sleep in adolescents and young adults. *Journal of Affective Disorders*. 2025. № 375. P. 331-341.
16. Spielberger C.D. Anxiety: Current trends in theory and research. New York. 1972. Vol. 1. P. 24–55.
17. Belov O, Pshuk N. Age and gender features of depressive and anxiety symptomatics of depressive disorders. *Wiadomości Lekarskie*, 2020. V. 73. №7. P. 1476-1479.
18. Денисенко С. Теорія кольору: навчальний посібник Київ, «Вища школа», 2021. 150 с.

#### References

1. Koval, K.H., Khomenko, S.M., & Yukhymenko, L.I. (2025). EEG-correlates of anxiety of student youth in the realities of the extreme situation of martial law. *Visnyk Cherkaskoho Universytetu*, 1, 4–13.
2. Alhawari, H. et al. (2023). Comparison of Baseline and Test Day Cardiovascular Parameters, Anxiety Scores and Coffee Consumption Among Medical Students Undergoing Objective Structured Clinical Examinations in Jordan. doi: <https://doi.org/10.2147/IJGM.S432157>
3. Olpińska-Lischka, M. et al. (2021). Differences in the Effect of Sleep Deprivation on Postural Stability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph18073796>
4. Heimhofer, C. et al. (2024). Finger-specific effects of age on tapping speed and motor timing. doi: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1427336>
5. Holubnych L., Matsapura L., Miroshnik L., Hetmanets I., Kovalchuk O., & Khodakovska O. (2022). Psychophysiological Adaptation of International Students to Learning Abroad. doi: <https://doi.org/10.53894/ijirss.v5i1.359>
6. Mozolev, O. (2023). Monitoring of The Physical Health State of Student Youth: Comparative Analysis (2016–2023). doi: <https://doi.org/10.31891/pcs.2023.4.7>
7. Vergeles, T., Serheta I. (2022). Features of psychophysiological adaptation of students under the conditions of the remote (on-line) format of the organization of educational. doi: <https://doi.org/10.36074/logos-14.10.2022.40>
8. Benítez-Agudelo, J.C., Restrepo, D., & Clemente-Suárez, V.J. (2025). Gender differences in psychophysiological responses to stress and academic performance: The role of sleep, anxiety, and HRV. *Physiology and Behavior*, 299. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2025.114970>
9. Koval, K. (2025). The development of a computerised method for the integrated assessment of human psychophysiological adaptation. *The World of Scientific Research*, 40, 173–175. Retrieved from <https://www.economy-confer.com.ua/full-article/6205/>

10. Computer program "Integral assessment of human psychophysiological adaptation": certificate of copyright registration for work No. 139404, Ukraine: UKRNOIVI; applied for on 09.09.2025, published on 31.10.2025, Bulletin No. 94. Retrieved from <https://iprop-ua.com/cr/rdysqp4c/>
11. Koval, K.H., Khomenko, S.M. (2024). Characteristics of students' anxiety under the conditions of martial law: psychophysiological content. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, 153–154.
12. Koval, K.H., Khomenko, S.M., Yukhymenko, L.I. (2024). Psychophysiological foundations of the concept of human stress resistance. In Mechanisms of Development of the Scientific and Technical Potential of Modern Society (pp. 1–7). Salzburg. doi: <https://doi.org/10.70286/isu-25.09.2024>
13. Stressful conditions of the population of Ukraine in the context of war: the results of an all-Ukrainian survey. Official site of Sociological Association of Ukraine. (2025). Retrieved from <https://sau.in.ua/research/stresovi-stany-naselennya-ukrayiny-v-konteksti-vijny-rezultaty-vseukrayinskogo-opytuvannya/>
14. Benítez-Agudelo, J.C. et al. (2025). Longitudinal effects of stress in an academic context on psychological well-being, physiological markers, health behaviours and academic performance in university students. doi: <https://doi.org/10.1186/s40359-025-03041-z>
15. Herber Caroline L.M., Breuninger C., Tuschen-Caffier B. (2025). Psychophysiological stress response, emotion regulation and sleep in adolescents and young adults. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jad.2025.01.110>
16. Spielberger C.D. Anxiety: Current trends in theory and research. New York. 1972. Vol. 1. P. 24–55.
17. Belov, O.O., & Pshuk, N.G. (2020). Age and gender features of depressive and anxiety symptoms of depressive disorders. Wiadomości Lekarskie, 73(7). doi: <https://doi.org/10.36740/WLek202007130>
18. Denysenko, S. (2021). Colour theory: textbook. Kyiv, Vyshcha Shkola.

**К. Г. Коваль, С. М. Хоменко, Л. І. Юхименко**

### **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РІВНІВ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОЇ АДАПТАЦІЇ СТУДЕНТСЬКОЇ МОЛОДІ УКРАЇНИ ТА ІСПАНІЇ**

*Метою статті було встановлення відмінностей рівнів психофізіологічної адаптації студентської молоді України та Іспанії в умовах навчальної діяльності. У дослідженні взяли участь 180 здобувачів вищої освіти віком 17-28 років, обох статей: 90 з Факультету медсестринства університету Вальядоліду (Кастилія і Леон, Іспанія) та 90 з Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького різних навчально-наукових інститутів не спортивних спеціальностей, Україна.*

*Для оцінки рівня психофізіологічної адаптації (ПА) було використано оригінальну комп'ютерну програму «Інтегральна оцінка психофізіологічної адаптації людини». Вона включала оцінку: реактивної (РП) та особистісної (ОО) тривожності; вестибулярної функції (ВФ); тепінг-тесту (ТТ); частоти серцевих скорочень (ЧСС); систолічного (САТ) та діастолічного (ДАТ) артеріального тиску; енергетичного балансу за даними кольоро- (КС) й звуко-сприйняття (ЗС). Статистичний аналіз отриманих результатів проводили методами параметричної статистики із застосуванням пакету програм MS Excel 2010.*

*Встановлено, що значна частина студентської молоді в Україні на сьогодні характеризується вираженим станом хронічного стресу та, внаслідок цього, низьким рівнем ПА. Порівняно студентської молоді Іспанії, українські здобувачі вищої освіти відрізнялися значно гіршими показниками ПА, що проявлялося у достовірно меншій кількості осіб із високим рівнем ПА та значній кількості обстежуваних із критично-низьким її рівнем. Серед іспанської студентської молоді осіб з критично низьким рівнем ПА встановлено не було. Молоді українці характеризувались порівняно вищими показниками тривожності, ЧСС, САТ і ДАТ, нижчими показниками ВФ, ТТ, КС і ЗС, що прямо корелювало з невисокими рівнями ПА на фоні воєнного стану в Україні та пов'язаними з ним негативними факторам, напруженістю, інтенсивністю і складністю навчального процесу за цих умов. Встановлено, що провідними факторами, які обумовлювали рівні ПА були: РТ, ОТ, ЧСС, ТТ і ВФ. Розроблено практичні рекомендації, які можуть бути корисними для покращення ПА студентської молоді.*

**Ключові слова:** психофізіологічна адаптація, стресостійкість, тривожність, стрес, студентська молодь.

Надійшла до редакції / Received: 20.11.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.12.2025



UDC 612.821

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-2-49-60

**Volodymyr Serhiyovych Lyzohub**

Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

[v\\_lizogub@ukr.net](mailto:v_lizogub@ukr.net)ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3001-138X>**Yuliya Vitaliyivna Koval**

Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

[uyla0077@ukr.net](mailto:uyla0077@ukr.net)ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7160-5240>**Oleksandr Oleksandrovich Bezcopylny**

Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

[aleksbez1981@ukr.net](mailto:aleksbez1981@ukr.net)ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7207-7590>**Tetiana Volodymyrivna Kozhemiako**

Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

[kozhemako@ukr.net](mailto:kozhemako@ukr.net)ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4752-4197>

## INTERACTION BETWEEN MOTOR AND COGNITIVE BRAIN SYSTEMS IN PERSONS WITH HEARING DEPRIVATION

**Abstract.** The peculiarities of the functional interaction of motor and cognitive systems were investigated in 27 persons with hearing loss aged 17-18, and 24 peers with normal hearing function, under the condition of visual information processing in the go/go and go/no-go paradigm. The cognitive task in the go/no-go paradigm included determining the modality of the signal, the shape of the figure, the semantic meaning of the word, and a quick reaction (go) or inhibition of the motor act (no-go). The task in the go/go paradigm involved a rapid motor response to signals of different modalities.

The speed characteristics of the visual response to verbal signals in the go/no-go paradigm depended on the state of auditory function. The response time to words in the go/no-go paradigm for individuals with hearing deprivation was statistically significantly longer, and the speed characteristics were lower than those with normal sensory function ( $p = 0.031$ ). According to the speed of performance of the task in the go/no-go paradigm for verbal signals, a level of functional interaction of motor and cognitive systems ( $r = 0.66$ ;  $p = 0.043$ ) was higher in young people with hearing loss, than in persons with normal hearing ( $r = 0.38$ ;  $p = 0.046$ ).

The functional interaction of motor and cognitive systems, as well as the speed of task performance depended on the choice of the information processing mode. The speed of performance of the task for the go/go paradigm was higher in subjects with deprivation ( $p = 0.026$ ) and normal auditory function ( $p = 0.041$ ) than in the go/no-go paradigm. It was established that the functional interaction of the motor and cognitive systems of the brain during information processing in the go/no-go paradigm depends on the modality of the signals. For young people with deprivation of auditory function in the go/no-go paradigm, the time characteristics of performing tasks for pictorial signals were statistically significantly higher than for verbal signals ( $p = 0.028$ ), and for individuals with normal auditory function, such differences were ( $p = 0.036$ ).

It has been proven that the functional interaction of the motor and cognitive systems of the brain depends on the complexity of the presented information, the modality of the signals, and the state of the sensory function. In case of dysfunction of the auditory system, the visual system is compensatory activated, and the intra- and intersystem functional interaction of the motor and cognitive systems of the brain is strengthened. A hypothesis is proposed, and the issue of the participation of distinct cross-modal mechanisms of functional interaction of cognitive and motor

*systems of brain activity for persons with auditory function deprivation under the condition of visual information processing in the go/no-go paradigm is discussed.*

**Key words:** *hearing deprivation, go/no-go paradigm, motor and cognitive systems, information processing, reaction speed, signal modality.*

Nowadays, neurophysiological and pathophysiological processes occurring in the nervous system and brain are widely studied [1]. Researches and publications on the neurophysiological mechanisms of interaction between neurons were awarded the Nobel Prizes [2]. However, the mechanisms of the formation of integrative sensory, motor, and cognitive processes have not yet been elucidated. Scientists pay attention to problems in the study of signal transmission processes from the periphery of the nervous system to the brain, the mechanisms of their processing and transformation into sensations, emotions, cognitive processes, consciousness, speech, and behavioural reactions [3, 4].

It should be noted that the auditory system is the main sensory signaling system in a living organism and allows a person to navigate in time and space, perform important cognitive and behavioural functions. It reports on the occurrence of deviations from its normal functioning. Contemporary research shows that one of the important features of the human brain is its ability to process large volumes of information in parallel [5]. However, no matter how powerful this system is, it has its own sensitivity, limitations of attention and memory, ability to integrate and compete between ways of processing information. From this point of view, the functional interaction of the motor and cognitive systems of the brain is of significant scientific interest [6]. For this reason, the study of the interaction of the motor and cognitive systems of the brain under the conditions of information processing of various complexity and modality is paid great attention at the current stage of the development of neurocognitive science [7, 8, 9]. The literature describes various results of successful performance of cognitive and motor tasks [10, 11]. It has been established that the performance of a task can positively influence the result of another one [8]. It has been shown that listening to music increases the effectiveness of cognitive activity, concentration of attention, improves verbal and visual memory [7, 12]. Several studies have demonstrated changes in the quality of performing mental operations in the event of impaired ability to maintain balance or walking function [5]. There are the results of studies when motor function changes depending on the cognitive activity [12]. This gives reason to think that the functional organization of the brain is different for the performance of common cognitive and motor tasks.

It should be emphasized that most of the studies on elucidating the features of the functional interaction of the motor and cognitive systems were conducted on healthy subjects and based on the dominant principle. Therefore, to evaluate the results of the functional interaction of motor and cognitive systems, the number of correct answers or wrong reactions was mainly used without considering the speed characteristics of information processing. However, it is known that the speed characteristics of a simple sensorimotor reaction in the go/go mode are used to study the functional activity of the motor system [8, 13]. In our laboratory, the investigation and evaluation of the quantitative and qualitative characteristics of the interaction of the motor and cognitive systems is implemented under the condition of performing dual tasks in the go/no-go two-stimulus test paradigm [8]. First, we note that the choice reaction in the go/no-go mode includes excitatory signals (go), which need to be acted upon, but also inhibitory stimuli, to which motor reactions are not required (no-go). In this task, the success of the sensorimotor response will be determined by the speed of movement of excitation processes that compete with the characteristics of inhibition. We emphasize that the proposed two-stimulus go/no-go paradigm includes the processes of analysis and construction of a motor response program with the involvement of cognitive brain systems [14]. Therefore, research and assessment of the functional interaction of motor and cognitive systems under the condition of information processing in the go/no-go paradigm is promising and relevant for biological and medical science.

It should be noted that considerable clinical material on the dual performance of motor and cognitive tasks has already been accumulated [15, 16, 17] that proved to be extremely promising for evaluating the capabilities of people with cerebral pathology and in the conditions of attention distribution [18, 19]. Along with this, the psychophysiological foundations of the integrative function of

the human brain during joint cognitive and motor activity are poorly studied. Since the functional model of task performance in the go/no-go two-stimulus paradigm includes various stages of cognitive and motor activity from motivation to the rapid performance of a motor act and control over the result of its performance, it became necessary to find out the features of the functional organization of cognitive and motor activity at the stage of altered sensory function. We believe that subjects with selective deprivation of auditory, visual, vestibular, olfactory, or gustatory functions could be a natural model for conducting an experiment. Lack of hearing causes changes in the sensory system from peripheral structures to the cortex, causes negative social consequences, and makes language acquisition impossible [20]. There is evidence that long-term deprivation of the auditory system is associated with the presence or absence of cross-modal plasticity and multisensory information processing [21]. Numerous data of neuroimaging that demonstrate the involvement of the visual areas of the brain of blind people in the processing of stimuli of the non-visual modality, particularly, auditory [22], speech perception [9, 23] testify in favour of the hypothesis of cross-modal plasticity. It was believed for a long time that cross-modal interaction is a consequence of the reorganization of the deafferented sensory cortex. There have been data indicating the modulation of the visual cortex in sighted people when performing auditory tasks. At the same time, some researchers note deactivation of the visual cortex of sighted people when performing auditory tasks [22], while others note activation [24], and others note simultaneous activation and deactivation of different areas of the sensory cortex [25].

Thus, there are a lot of data on the structural and functional reorganization of the deafferented sensory system in animals, blind and deaf people [21, 22, 23, 25]. The given results indicate the high plasticity of the sensory system in people with hearing deprivation, but its mechanisms have not been completely revealed to date. It can be assumed that in individuals with derivation, unlike those examined with normal hearing function, the processing of complex information in the go/no-go selection mode will be accompanied by various functional rearrangements in the interaction of the cognitive and motor systems of the brain. The question arises as to how the functional organization of the brain changes under conditions of performance of common cognitive and motor tasks in persons with sensory deprivation. The functional interaction of cognitive and motor systems and their mechanisms are still not sufficiently studied and remain debatable issues. Therefore, it is important to find out the peculiarities of the interaction of the motor and cognitive systems of the brain of persons with auditory function deprivation under the conditions of information processing in the go/no-go paradigm and their healthy peers. In this case, speed characteristics of sensorimotor reactions to various visual signals during information processing in the go/go and go/no-go paradigms is almost the only non-invasive method that directly registers functional changes in persons with hearing deprivation. The obtained results will allow a new approach to the analysis of the brain organization of various types of cognitive activity at the stage of motivation, perception, programming, decision-making, program performance and control over the obtained result [26]. We will also note the practical significance of research on the integrative functions of the brain during joint motor and cognitive activities for the development of ergonomic working conditions and rehabilitation of patients [27]. All the above determined the purpose, tasks, organization, and methods of the research.

**The purpose of this study** is to find out the peculiarities of the interaction of the motor and cognitive systems of the brain of persons with auditory function deprivation under the conditions of information processing in the go/go and go/no-go paradigm.

**Materials and Methods.** The peculiarities of the functional interaction of motor and cognitive systems were investigated under the condition of information processing in the go/go and go/no-go paradigm in 27 right-handed 17-18-year-old young men with derivation of hearing and 24 persons with normal hearing function. The absence of craniocerebral injuries and psychoneurological disorders, the state of health and the right-sided profile of manual and sensory asymmetry were considered when forming the contingent. Participation in the experiment was voluntary and complied with the bioethical norms of the Declaration of Helsinki. The subjects were informed and consented to participate in the study. They performed motor (go/go) and cognitive (go/no-go) information processing tasks of various modalities on the “Diagnost-1M” hardware and software complex. The reaction time and speed

characteristics of a simple visual-motor reaction in the go/go paradigm and the reaction of choosing one of three signals in the go/no-go mode were determined [8].

Previously, the subjects learned the conditions and research algorithm, and preliminary trained. First, reaction time was determined in the go/go paradigm. The subject had to press the right button of the remote control as quickly as possible, if any shape appeared on the computer screen: «circle», «triangle» or «square». The second task was constructed like the first, with the only difference that in the go/go paradigm, subjects were presented with verbal signals: «animals», «objects» or «plants».

In the third task, the subject was presented with geometric shapes with the random presentation of go (response required) and conditioning no-go (no response) stimuli. The subject was asked to quickly press the right button (go) with the finger of the right hand upon the appearance of a «square» shape. The appearance of a «triangle» or «circle» is a brake signal not to press any button (no-go). The order of presentation of signals varied and was random. Exposure and pauses between signals were automatically changed from 0.5 to 1.9 s. The fourth test was constructed like the previous one, but verbal signals were presented. The subject performed the task in the go/no-go mode according to the instructions. When a word meaning «animal» appeared on the screen, he quickly pressed the right button (go) with the finger of his right hand, and when words meaning «objects» or «plants» were presented as an inhibitory stimulus, he did not press any button (no-go).

The average reaction time for go/no-go, separately for geometric shapes and verbal signals, was determined. To describe the sample distribution, Me [25; 75] (Me – median; 25 and 75 – lower and upper quartiles) was indicated. We calculated: the average value of indicators (M), the value of the average arithmetic error ( $\pm m$ ), the mean square deviation ( $\sigma$ ), the coefficient of variation (CV), the median and the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> quartiles (Me [25%; 75%]) for samples with a non-normal distribution, Wilcoxon (pairwise comparisons) or Mann-Whitney (comparisons of independent samples) significance tests. The data were also statistically processed using the ANOVA (two-way analysis of variance) system. Tukey's additivity test with Bonferroni correction was used to determine significant differences ( $p < 0.05$ ).

**Results.** As a result of the conducted experiment, it was established that the functional interaction of the motor and cognitive systems under the condition of information processing depends on the modality of signals, the presence or absence of sensory deprivation, and the mode of presentation of signals (Table 1).

Table 1

**Statistical indicators (Me [25%; 75%]) of performance speed of the motor (go/go) and cognitive tasks in the paradigm (go/no-go) for visual and verbal signals in persons with deprivation (n=24) and normal hearing function (n=27)**

| Motor and cognitive paradigm                  | Modality of signals    |                        |                                               |                         |                         |                                               |
|-----------------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|
|                                               | Shapes                 |                        |                                               | Words                   |                         |                                               |
|                                               | Hearing deprivation    | Normal hearing         | Statistical significance of the difference, p | Hearing deprivation     | Normal hearing          | Statistical significance of the difference, p |
| go/go, mc                                     | 228.4<br>[221.0;234.6] | 236.1<br>[229.0;243.5] | 0.067                                         | 231.5<br>[225.7;237.5]  | 238.4<br>[230.1;246.7]  | 0.075                                         |
| go/no-go, mc                                  | 373.2<br>[366.6;379.7] | 389.5<br>[383.5;395.3] | 0.063                                         | 510.3*<br>[503.5;517.0] | 480.4*<br>[473.3;487.3] | 0.031                                         |
| Statistical significance of the difference, P | 0.027                  | 0.034                  |                                               | 0.041                   | 0.026                   |                                               |

Note \* - statistical significance of differences in time characteristics of visual and verbal signals in persons with deprivation of hearing ( $p=0.028$ ) and normal sensory function ( $p = 0.036$ ).

**Processing of information of different modalities in the go/go paradigm.** In this task, all subjects made a quick reaction to the appearance of signals of different modalities in the go/go paradigm. The subject had to press and release the right button of his remote control as quickly as possible, provided that any shape («circle», «triangle», «square») appeared on the computer screen. The obtained results indicate that the motor reactions were the same in persons with normal sensory function and with derivation of auditory function (Fig. 1).

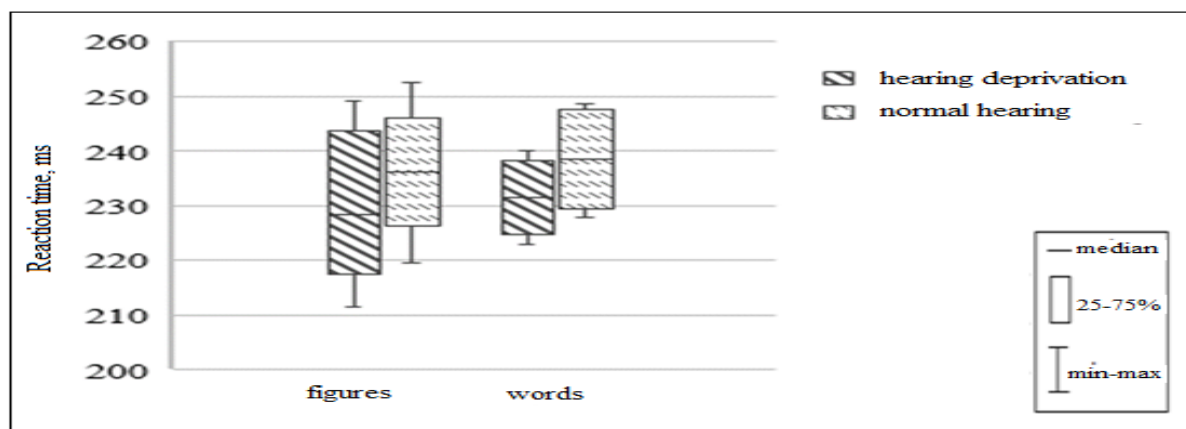


Fig. 1. Time of performing a task in the go/go paradigm to visual and verbal signals in subjects with deprivation and normal auditory function.

Thus, individuals with auditory function deprivation performed tasks in the go/go paradigm with pictorial signals at an average speed of 228.4 ms, and with normal sensory sensitivity - 236.1 ms. There were no statistically significant differences in the speed characteristics of the reaction time in the groups of subjects with normal auditory function and derivation of auditory function ( $p = 0.067$ ).

Under the condition of performing the task in the go/go paradigm with verbal signals, the subject had to press and release the right button of his remote control as quickly as possible, if words meaning the names of «animals», «objects» or «plants» appeared on the monitor. The results indicate that the motor responses were the same in individuals with normal hearing function and with hearing derivation. Thus, persons with hearing deprivation performed this task at an average speed of 231.5 ms, and those with normal sensory sensitivity - 238.4 ms. No statistically significant differences in the speed characteristics of the go/go motor reaction time were found in the groups of subjects with normal auditory function and hearing derivation ( $p=0.075$ ). We also found that the speed characteristics of the motor movement response in the go/go paradigm did not depend on the modality of the signals. The go/go reaction time to words and shapes was the same in subjects with derivation of auditory function ( $p= 0.073$ ) and normal auditory function ( $p= 0.068$ ).

Thus, the results of the conducted experiment established that the speed characteristics of the motor reaction in the go/go paradigm, provided that visual and verbal signals are presented, do not depend on the modality of the signals and the presence or absence of sensory deprivation.

**Information processing in the go/no-go paradigm.** The cognitive task required the subjects to perform a semantic analysis and a quick selective reaction to the appearance of signals of different modalities in the go/no-go paradigm. The subjects had to do a task performing a motor act as quickly as possible and press (go) the right button of the subject's remote control if a «square» appeared on the screen and not to press the (no-go) button if a «triangle» or «circle» signal appeared. The results of performing a cognitive task with visual signals were the same in persons with normal auditory function and with hearing derivation (Fig. 2). There were no statistically significant differences in the speed characteristics of reaction time with pictorial signals in the groups of subjects with normal auditory function and hearing derivation ( $p = 0.063$ ).

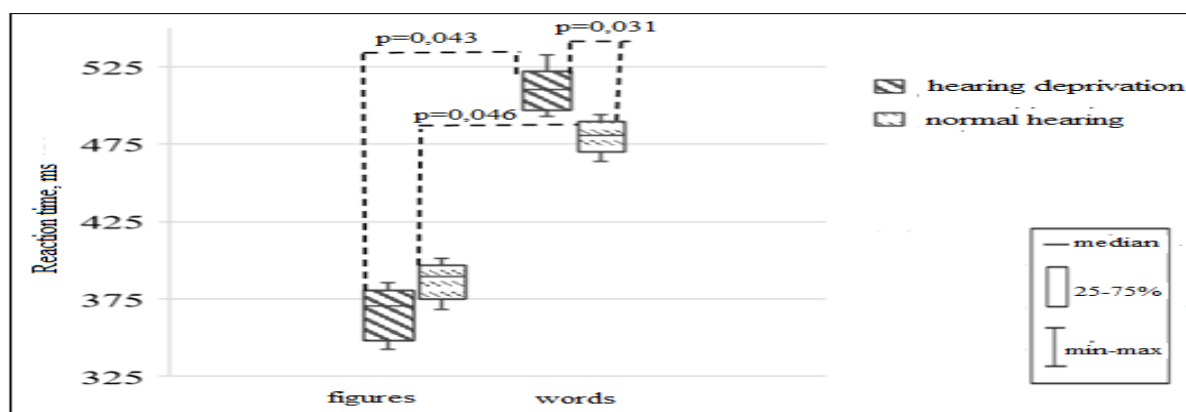


Fig. 2. Time of performing a cognitive task in the go/no-go paradigm to visual and verbal signals in subjects with derivation and normal auditory function.

In the case of a cognitive task on words in the go/no-go paradigm, subjects had to quickly respond to verbal signals. When a word meaning the name of «animal» appeared on the screen of the computer monitor, the subject was required to make a semantic analysis of the signals and quickly press the right button (go), and the subject's answer was not required - no-go for words meaning the name of «objects» or «plants». It was found that the time of the go/no-go cognitive reaction to words was statistically significantly longer in subjects with hearing deprivation than in subjects with normal hearing. Thus, individuals with auditory function deprivation performed a cognitive task on verbal signals in the go/no-go paradigm at an average speed of 510.3 ms, while those with normal sensory sensitivity were much faster - 480.4 ms ( $p = 0.031$ ).

Thus, the results indicate that the speed characteristics of the go/go motor response to both verbal and visual signals were higher than in the go/no-go paradigm in subjects with normal auditory function and hearing deprivation. Therefore, the speed characteristics of the motor reaction depended on the mode of presentation of the signals. They were higher for the go/go response and lower in the go/no-go paradigm. It should be emphasized that the speed characteristics of the response to verbal signals in the go/no-go paradigm depended on sensory deprivation. Response time to words in the go/no-go paradigm for individuals with sensory deprivation were statistically significantly longer and speed characteristics lower than those with normal hearing, while the speed characteristics of reactions in the go/no-go and go/go paradigms under the condition of presentation of visual signals did not depend on the state of the sensory function.

### Discussion.

There are different ways of processing go/go, go/no-go and go/no-go/go information [8]. In the case of the go/no-go paradigm, it can be considered as a process of joint cognitive and motor activity, as well as competition between the ways of processing the relevant go (response is required) and the non-relevant no-go stimulus (no response is required) information. In this case, many important questions arise: how does the information processing system recognize when it is necessary to attract attention? How do psychophysiological mechanisms solve situations in which there is a conflict? Or how are motor and cognitive systems involved in information processing? What are the features of information processing in case of different modality of signals in persons with normal and hearing deprivation? It seems possible to assume that there are many ways and mechanisms that the brain can engage in processing information. In our experiment, these were instructions for the go/go or go/no-go task, the choice of response to shapes or words, and others. In this article, we consider some of the main results of our work regarding the confirmation or refutation of the hypothesis of the participation of information processing mechanisms of various complexity and modality in persons with auditory function deprivation, paying special attention to the interaction of the motor and cognitive systems of the brain.

First, based on the results of studies of the speed of the sensorimotor reaction, it was established that the functional interaction of motor and cognitive systems, as well as the speed of

task performance, depend on the state of auditory function deprivation. In the go/no-go paradigm, the peculiarities of the functional interaction of the motor and cognitive systems of the brain were revealed. It was found that the time of the visual-motor reaction to words in the go/no-go paradigm in the subjects with hearing deprivation was statistically significantly longer, and the speed characteristics were lower, than those with normal hearing function ( $p = 0.031$ ). In addition, subjects with auditory function deprivation had a higher level of functional interaction of the motor and cognitive systems that is confirmed by a higher correlation coefficient ( $r = 0.66$ ;  $p = 0.043$ ) than those with normal auditory function ( $r = 0.38$ ;  $p = 0.046$ ). This is experimental evidence that individuals with auditory function deprivation maintain lower speed characteristics of processing verbal information under the condition of a higher level of interaction of motor and cognitive systems. Therefore, it can be stated that persons with auditory function deprivation have a higher connection between the motor and cognitive systems of the brain in the task of choosing one of three verbal signals. It becomes more significant in persons with auditory function deprivation and reaches high values precisely in the task of choosing go/no-go with verbal signals when the subject needs to differentiate not only the type, but also the type of response, and also with the participation of an inhibitory signal. The obtained better results of visual reactions to words in the go/no-go paradigm of individuals with normal hearing function may be the result of coordinated cross-modal activity of the auditory and visual systems [Lyzohub et al., 2015]. Whereas in persons with auditory function deprivation, the cross-modal interaction of sensory systems during the processing of verbal information in the go/no-go paradigm requires additional involvement of integration processes from the motor system. In the case of processing of image signals, both in persons with deprivation and normal hearing function, no clear interaction of the motor and cognitive systems was found. The correlation coefficient did not reach a significant level, respectively ( $r=0.23$ ;  $p=0.073$  and  $r=0.16$ ;  $p=0.081$ ) between the variable series of speed characteristics of the response to figures in the go/go and go/no-go paradigm for subjects with deprivation and normal auditory function.

In addition, we have found that the functional interaction of the motor and cognitive systems of the brain and the time characteristics of the reaction speed of subjects with deprivation and normal auditory function depended on the complexity of the task. They were statistically significantly better for the go/go response than for the information processing in the go/no-go paradigm. We showed before that the process of sensorimotor information processing in go/go mode includes at least two functional systems - sensory and motor [21]. We can assume that in the go/go paradigm, motor reactions are carried out without the special involvement of analytical and synthetic activity of the cerebral cortex. This is confirmed by the absence of statistically significant differences in the values of the performance speed of the go/go task for pictural and verbal signals. If we consider that a number of researchers distinguish several important stages of functional organization for the go/go sensory-motor response, such as: signal detection, decision-making process and implementation of the motor response [28, 29], the process of processing complex verbal information in the go/no-go paradigm will include at least three functional components: sensory - the ability to perceive information, central - semantic analysis and the formation of an action program in nerve centers, as well as the implementation of a motor response [11]. It should be noted that in subjects with deprivation of hearing and normal auditory function, the speed of performing tasks in the go/go paradigm was higher than in the conditions of go/no-go cognitive tasks ( $p=0.026 - 0.041$ ). If we consider the data from literature [21] and the results shown in Table 1, it proves that in the go/no-go mode, the cognitive system is also involved in addition to the sensory and motor components of verbal information processing. We can assume that this is the ability of semantic analysis of signals and the meaning of words, switching attention, comparing information in memory, forming an action program, reacting with the right hand quickly and correctly, as well as inhibiting unnecessary reactions (no-go) [10, 15]. In addition, the conflict between the relevant and irrelevant response increased significantly in the case of the go/no-go paradigm for verbal signals, especially in individuals with deprivation of auditory function. The subjects' attention was directed to the search for a conflict between a relevant (go) and an irrelevant



answer (no-go). The conflict was revealed only in the tasks of response inhibition (no-go) with proactive and reactive correction of cognitive control. We can suggest that response inhibition (no-go) is associated with specific ventral neural networks (ventral attention network) [30]. It is also possible that «place neurons» and «grid neurons» selectively transmit electrical impulses and, thus, coordinate and discharge in several different nodes, which ensure the internal interaction of the system [6]. In the task of go/go to pictorial signals, the conflict, stimulus/response, reduced to a minimum reaction time for individuals with derivation and with normal auditory function did not reach a statistically significant difference ( $p = 0.067$ ). A similar regularity in the go/go task was also found for the presentation of verbal signals ( $p = 0.075$ ). Considering the results of this study and data from literature [8], we can assume that the functional interaction of motor and cognitive systems depended on the mode of information processing in both individuals with derivation and normal auditory function. It is higher in the go/go paradigm and lower for go/no-go tasks.

Considering the results of our study, we can assume that the functional interaction of the motor and cognitive systems of the brain, as well as the time characteristics of task performance in the go/no-go paradigm of subjects with sensory deprivation were also dependent on the modality of the signals. It should be noted that this study used visual (geometric shapes) and verbal signals (meanings of words), which were addressed to different signaling systems. It was found that for visual signals, the time characteristics in the go/no-go task were statistically significantly better than for verbal signals ( $p = 0.028$ ). The fact is that the analysis of image signals is provided by the work of the first signaling system. It is known that it includes many cortical and subcortical structures, which duplicate each other to some extent and increase reliability [31, 32]. In contrast, the ontogenetic younger verbal function belongs to the second signaling system and is associated with the cortex of the large hemispheres, to a greater extent - the frontal lobes, is less stable and has a smaller neurophysiological resource [26]. Therefore, verbal functions have a higher rigidity, that is, the inability to quickly switch from the reaction to act (go) to another - to inhibit (no-go), which is associated with a low level of automation and the involvement of additional neural networks [33].

In addition, the better results of performing the task in the go/no-go paradigm for visual signals than for verbal ones can be explained from the standpoint of dominant and interference mechanisms [8, 34]. When performing the go/no-go task, it was necessary to quickly perceive visual or verbal signals, carry out their semantic analysis and quickly press the right button (go), as well as inhibit the no-go motor reaction to unnecessary signals. This created interference between two streams of information (to act or not to act) and centers of excitation and inhibition, especially in the case of performing a task with verbal signals [8]. This was evidenced by the fact that the reaction time of persons with auditory function deprivation was statistically significantly longer when performing the task in the go/no-go paradigm for words than for pictorial signals. Therefore, we can assume that in the case of verbal information processing in the go/no-go paradigm, a coordinated functional interaction of the motor and cognitive systems is established in the neural networks of subjects with hearing dysfunction. In the case of verbal signals, the speed of reaction significantly worsened in persons with auditory function deprivation, a characteristic discoordination of excitatory and inhibitory processes appeared. We can assume that there is interference in the motor and cognitive system of persons with derivation of auditory function in this case [8, 35]. Therefore, in our study, the interference effect for individuals with deprivation of auditory function depended on the modality of the signal and was more pronounced for verbal signals in the go/no-go paradigm. There was a situation where the imposition of an additional motor factor and inhibitory process on the cognitive system reduced the effectiveness of information processing. Speed characteristics of information processing in the go/no-go paradigm for pictorial and verbal signals revealed the statistically significant differences. In the case of shapes, the reaction speed was always higher than for verbal signals. In contrast, in the tests with the go/go paradigm, the task was to respond as quickly as possible by pressing the remote-control button with the right hand to the appearance of any signal without determining its modality, the type of shape or the semantic meaning of the word (motor component). It was found that there were no statistically



significant differences in the speed of performing the go/go task for visual and verbal signals. This may indicate that the same basic neurophysiological mechanisms are involved in the go/go paradigm for visual and verbal information [30, 36] and neurointegration takes place in the cerebral cortex that is characterized by information synthesis and the focus of interaction for many neural networks that discharge in the same rhythm for different areas of the brain [33, 36, 37].

So, the peculiarities of cognitive information processing in the go/no-go paradigm have been established for the subjects with auditory function deprivation. Different mechanisms of cross-modal interaction in persons with deprivation and normal auditory function have been revealed. In the case of dysfunction of the sensory system, not only intra-systemic functional reorganization occurs, but also inter-system cognitive and visual-motor integration is activated in compensation. Auditory deprivation adjusts the structural and functional mechanisms of interaction of motor and cognitive systems. Such changes in the functional interaction of the motor and cognitive systems of the brain are caused by long-term deprivation and lead to a decrease in the functional reserves of the brain.

Thus, the results of the conducted research allow us to generalize the features of information processing in the go/no-go paradigm for subjects with auditory function deprivation. We have obtained features of the time of signal perception, its analysis, decision-making, and transmission to the effector. Such processing of information in persons with deprivation is characterized by specific mechanisms different from persons with normal sensory function in ensuring complex analytical and synthetic activity, the occurrence and termination of neural processes in brain networks. We can assume that the characteristics of the complexity of the task, the modality of the signals and the dysfunction of the auditory analyzer play a decisive role in information processing. It is obvious that the speed characteristics of motor and cognitive responses to verbal signals in the go/no-go paradigm were lower in persons with hearing loss, and the interaction of the motor and cognitive systems was higher than in persons with normal hearing. The better results of responses to words in the go/no-go paradigm for individuals with normal hearing function may be the result of coordinated cross-modal activity of the auditory and visual systems [21]. Whereas in persons with hearing loss, the cross-modal interaction of the visual and auditory systems was complicated, and integration processes from the motor system were additionally involved for the processing of verbal information in the go/no-go paradigm. It is obvious that in order to maintain the necessary level of information processing, the brain of people with sensory deprivation carries out a non-linear increase of the available and reserve capabilities of the cognitive system and additionally involves other subsystems. In general, constant stimulation of the cognitive function of the brain affects the formation of many synapses formed between neurons. If we assume that such connections are practically not activated in persons with auditory function deprivation, the systematic interaction of the cognitive and motor system of the brain during the processing of verbal information in the go/no-go paradigm can increase the functional capabilities of the concerned neural networks and improve sensory properties. Therefore, hearing-impaired individuals have delayed cognitive development, and it is therefore extremely important to continue trying to provide motor and cognitive stimulation. A negative consequence of such activity can be an increase in the physiological cost of the work performed. The deprivation of the auditory function significantly increases the interaction of the motor and cognitive systems of the brain, especially in the conditions of processing verbal information in the go/no-go paradigm, which hypothetically can lead to the gradual exhaustion of nervous processes and functional reserves of the body.

This study is a strong basis for further scientific research on the mechanisms of neurointegration of the motor and cognitive system in people with hearing loss and the application of this knowledge in medicine and rehabilitation.

### **Conclusions.**

1. Various mechanisms of cross-modal interaction of the cognitive and motor system in persons with deprivation and normal auditory function have been established. In the case of deprivation of the auditory function, the visual system is activated compensatory, and the

intersystem interaction of the motor and cognitive systems is strengthened. A significantly higher manifestation of the functional interaction of motor and cognitive systems was established ( $r = 0.66$ ;  $p = 0.043$ ) according to the indicators of the speed of performance of tasks with verbal signals in the go/no-go paradigm in persons with derivation of the auditory function than in young men with normal hearing ( $r = 0.38$ ;  $p = 0.046$ ).

2. Functional interaction of the motor and cognitive systems of the brain in the subjects with deprivation and normal function of hearing, information processing depends on the modality of the signals. The time characteristics of performing tasks for visual signals were statistically significantly higher than for verbal signals ( $p=0.028$ ) in young people with derivation of auditory function in the go/no-go paradigm.

3. We have established that the functional interaction of motor and cognitive systems, as well as the speed of task performance, depend on the choice of information processing mode. For young men with derivation of auditory function, time characteristics in the go/go mode were statistically significantly higher than in go/no-go tasks for pictorial ( $p = 0.027$ ) and verbal ( $p = 0.041$ ) signals. For individuals with normal hearing function, the differences in temporal characteristics in the go/no-go and go/go paradigms were for verbal ( $p = 0.026$ ) and pictorial ( $p = 0.034$ ) signals.

4. The results of the work and the research methodology can be used for prognostic assessment of the capabilities of human activity in conditions of complex information loads.

#### References

1. Rissardo, J. P., Caprara, A. L. F., & Prado, A. L. C. 2017. Projeto Semana Nacional do Cérebro: uma proposta neurocientífica. *Experiência*, Santa Maria, UFSM, 3(1), 86-100. doi:10.5902/2447115122193. ISSN 2447-1151.
2. Ohsumi, Y. 2016. The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2016. Stockholm, Sweden: The Nobel Assembly at Karolinska Institute.
3. Edelman, G. M., & Gally, J. A. 2001. Degeneracy and complexity in biological systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(24), 13763-13768. doi:10.1073/pnas.231499798
4. Penrose, R., Genzel, R., & Ghez, A. 2020. The Nobel Prize in Physics 2020.
5. Zhavoronkova, L. A., Zharikova, A. V., Kushnir, E. M., Mikhalkova, A. A., & Kuptsova, S. B. 2011. Characteristics of EEG reactivity changes during the performance of dual tasks in healthy subjects (voluntary postural control and calculation). *Human Physiology*, 37(6), 688-699. doi: 10.1134/S0362119711060168
6. Moser, E. I., & Moser, M. B. 2011. Seeing into the future. *Nature*, 469(7330), 303-304.
7. Shpenkov O., Tukaev S., Zima I. 2018. Changes in brain activity in the gamma range during listening to rock music with a reduced level of low frequencies. *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Biology*. 1 (75): 27-32.
8. Lyzohub, V. S., Chernenko, N. P., Kozhemiako, T. V., Palabiyik, A. A., & Bezcopylna, S. V. 2019. Age peculiarities of interaction of motor and cognitive brain systems while processing information of different modality and complexity. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 10(3), 288-294. doi:10.15421/021944
9. Kotsan, I. Y., Kozachuk, N. O., Kuznetsov, I. P., & Poruchynskii, A. I. 2016. Indices of coherence of EEG rhythms in the course of cognitive activity as markers of creative thinking: gender specificity. *Neurophysiology*, 48(4), 277-286.
10. Morenko, A. G., & Korzhik, O. V. 2016. Brain processes in women with different modal alpha-frequency through the execution of manual movements with applying of force. *Ukrainian Journal of Ecology*, 6(1), 326-341.
11. Lyzohub, V., Kozhemiako, T., Palabiyik, A., Khomenko, S., & Bezcopylna, S. 2020. Processing information in the go/nogo/go paradigm: interactions between cognitive function and the autonomic nervous system. *Health Problems of Civilization*, 14(1), 53-62. doi.org/10.5114/hpc.2020.93294.
12. Bondarenko, M. P., Bondarenko, O. V., Kravchenko, V. I., & Makarchuk, N. Y. 2016. EEG activity in dextrals and sinistrals during visual monocular/binocular perception of verbal emotionally colored information. *Neurophysiology*, 48, 43-53.
13. Verbruggen, F., & Logan, G. D. 2008. Automatic and controlled response inhibition: associative learning in the go/no-go and stop-signal paradigms. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(4), 649. https://doi:10.1037/a0013170
14. Lyzohub, V., Chernenko, N., Palabiyik, A. 2019. Neurophysiological mechanisms of regulation of sensorimotor reactions of differentiation in ontogenesis. *Journal of Cellular Neuroscience and Oxidative Stress*. 11 (1), 805-814.
15. Dumas, M., Rapp, M. A., & Krampe, R. T. 2009. Working memory and postural control: adult age differences in potential for improvement, task priority, and dual tasking. *Journals of Gerontology: Series B*, 64(2), 193-201. doi:10.1093/geronb/gbp009.

16. Silsupadol, P., Shumway-Cook, A., Lugade, V., van Donkelaar, P., Chou, L. S., Mayr, U., & Woollacott, M. H. 2009. Effects of single-task versus dual-task training on balance performance in older adults: a double-blind, randomized controlled trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 90(3), 381-387.
17. O'Shea, S., Morris, M. E., & Iansek, R. 2002. Dual task interference during gait in people with Parkinson disease: effects of motor versus cognitive secondary tasks. *Physical therapy*, 82(9), 888-897.
18. Mohammadirad, S., Salavati, M., Takamjani, I. E., Akhbari, B., Sherafat, S., Mazaheri, M., & Negahban, H. 2012. Intra and intersession reliability of a postural control protocol in athletes with and without anterior cruciate ligament reconstruction: a dual-task paradigm. *International journal of sports physical therapy*, 7(6), 627.
19. Laufer, Y., Ashkenazi, T., & Josman, N. 2008. The effects of a concurrent cognitive task on the postural control of young children with and without developmental coordination disorder. *Gait & posture*, 27(2), 347-351.
20. Butler, J. 2013. *Excitable speech: A politics of the performative*. Routledge, 200.
21. Lyzogub, V. S., Makarenko, M. V., Yukhymenko, L. I., Khomenko, S. M., Koval, Yu. V., & Kozhemyako, T. V. 2015. The age dynamic of sensomotor function of people with heart deprivation. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, III(5), Issue: 41, 20-24.
22. Gougoux, F., Zatorre, R. J., Lassonde, M., Voss, P., & Lepore, F. 2005. A functional neuroimaging study of sound localization: visual cortex activity predicts performance in early-blind individuals. *PLoS biology*, 3(2), e27, 0324-0333.
23. Klinge, C., Röder, B., & Büchel, C. 2010. Increased amygdala activation to emotional auditory stimuli in the blind. *Brain*, 133(6), 1729-1736.
24. Yokoyama, O., Miura, N., Watanabe, J., Takemoto, A., Uchida, S., Sugiura, M., ... & Nakamura, K. 2010. Right frontopolar cortex activity correlates with reliability of retrospective rating of confidence in short-term recognition memory performance. *Neuroscience research*, 68(3), 199-206.
25. Voss, P., & Zatorre, R. J. 2012. Occipital cortical thickness predicts performance on pitch and musical tasks in blind individuals. *Cerebral Cortex*, 22(11), 2455-2465.
26. Luria, V., Krawchuk, D., Jessell, T. M., Laufer, E., & Kania, A. (2008). Specification of motor axon trajectory by ephrin-B: EphB signaling: symmetrical control of axonal patterning in the developing limb. *Neuron*, 60(6), 1039-1053.
27. Filimonova, N. B., Makarchuk, M. Yu., Zima, I. G., Kalnysh, V. V., Cheburkova, A. F., & Torgalo, E. O. 2019. Peculiarities of interregional interaction in the brain of soldiers with craniocerebral injuries during testing of visual working memory for complex stimuli. *Herald of Cherkasy University. Series: Biological Sciences*, (1), 91-102.
28. Gold, J. I., & Shadlen, M. N. 2007. The neural basis of decision making. *Annual review of neuroscience*, 30(1), 535-574.
29. Rozenbaum, D. A. 2010. *Human movement control* (2nd ed.). Boston, Elsevier Academic Press.
30. Kutsenko T. 2017. Interhemispheric transfer of information in performance of complex Stroop test involving spatial properties by right- and left-handers. *Cherkasy university bulletin: biological sciences series*, 1, 37-47
31. Sperry, R. W. 1980. Mind-brain interaction: Mentalism, yes; dualism, no. *Neuroscience*, 5(2), 195-206.
32. Maurer, C., Mergner, T., & Peterka, R. J. 2006. Multisensory control of human upright stance. *Experimental brain research*, 171(2), 231-250.
33. Kalnysh V. V., Shvets A. V., Maltsev O. V. 2018. Peculiarities of assessment and forecasting of spontaneous recovery of psychophysiological functions of combatants. *Ukr J Occup Med*, 2(55), 29-39, doi.org/10.33573/ujoh2018.02.029
34. Schubert, T., & Szameitat, A. J. 2003. Functional neuroanatomy of interference in overlapping dual tasks: an fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 17(3), 733-746.
35. Hiraga, C. Y., Garry, M. I., Carson, R. G., & Summers, J. J. 2009. Dual-task interference: attentional and neurophysiological influences. *Behavioural brain research*, 205(1), 10-18.
36. Ivanitsky, A.M., Portnova, G.V., Martynova, O.V. [etc.]. 2013. Mapping the brain in verbal and spatial thinking. *Journal of Higher Nervous Activity of human*, 63(6), 677-686.
37. Korobeinikov, H., Prystupa, Ye., Korobeinikova, L., Briskin, Yu. 2013. Assessment of psychophysiological states in sport. *Lviv: LDUFK*, 312

**Лизогуб В.С., Коваль Ю.В., Безкопильний О.О., Кожемяко Т.В.**

### **ВЗАЄМОДІЯ МОТОРНИХ ТА КОГНІТИВНИХ СИСТЕМ МОЗКУ У ОСІБ З ДЕПРИВАЦІЄЮ СЛУХОВОЇ ФУНКЦІЇ**

*У осіб 17-18 років з депривацією слуху та їх однолітків з нормальною слуховою функцією досліджували особливості функціональної взаємодії моторних та когнітивних систем за умови переробки зорової інформації у парадигмі до/до та до/по-го. Когнітивне завдання у парадигмі до/по-го включало визначення модальності сигналу (форми фігури або семантичного значення слова) і вибору реакції дії (go) чи гальмування рухового акту (no-go). Моторне завдання у парадигмі go/go передбачало рухову реакцію на сигнали різної модальності.*

*Швидкісні характеристики зорової реакції на вербальні сигнали у парадигмі go/no-go знаходились у залежності від стану слухової функції. Час реакції на слова у осіб зі слуховою депривацією був статистично значуще більший, ніж з нормальною сенсорною функцією ( $p = 0,031$ ).*

*У осіб з депривацією та нормальною слухової функції швидкість виконання завдань знаходились у залежності від вибору режиму обробки інформації: швидкість виконання завдання для парадигми go/go була вища у обстежуваних з депривацією ( $p = 0,026$ ) та нормальною слуховою функцією ( $p = 0,041$ ), ніж у парадигмі go/no-go.*

*У юнаків з депривацією слухової функції за показниками швидкості виконання завдання у парадигмі go/no-go на вербальні сигнали виявили вищий рівень функціональної взаємодії моторних та когнітивних систем, ніж у осіб з нормальним слухом. Коефіцієнт кореляції результатів виконання моторного і когнітивного завдання у осіб з депривацією слухової функції становив  $r = 0,66$  ( $p = 0,043$ ), а для осіб з нормальним слухом  $r = 0,26$  ( $p = 0,073$ ).*

*Доведено, що функціональна взаємодія моторних та когнітивних систем знаходилась у залежності від складності пред'явленої інформації, модальності сигналів та стану сенсорної функції. У разі дисфункції слуху компенсаторно активується зорова, посилюється внутрішньо- і міжсистемна функціональна взаємодія моторної та когнітивної систем. Обговорюється питання про відмінні крос-модальні механізми переробки зорової інформації у парадигмі go/no-go осіб з депривацією слуху.*

**Ключові слова:** депривація слуху, парадигма go/no-go, моторна і когнітивна системи, переробка інформації, швидкість реакції, модальність сигналу.

Надійшла до редакції / Received: 08.11.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.12.2025

УДК: 612.76-053.5-056.3:613.71(045)

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-2-61-69

Олена Дмитрівна Светлова

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[svetlova\\_2004@ukr.net](mailto:svetlova_2004@ukr.net)ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5179-1733>

Людмила Олександрівна Сіпко

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[luzzy@ukr.net](mailto:luzzy@ukr.net)ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3884-3217>

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ РУХОВИХ НАВИЧОК ДІТЕЙ МОЛОДШОГО ШКІЛЬНОГО ВІКУ З ПОРУШЕННЯМИ ЗДОРОВ'Я

**Актуальність** даного дослідження зумовлена тривожною тенденцією до зростання показників захворюваності та інвалідності серед дітей та, як наслідок, недостатнім формуванням рухових компетенцій у підростаючого покоління. **Метою роботи** стало комплексне вивчення особливостей фізичного розвитку та розвитку рухових навичок у трьох груп дітей молодшого шкільного віку (умовно здорових, із хронічними соматичними захворюваннями та з розладами аутистичного спектра), що є фундаментом для подальшої корекційної роботи. Для досягнення мети використовувалися загальноприйняті **методи** досліджень: медико-біологічні (вивчення антропометричних даних, викопіювання медичних карт), педагогічні (тестування рухових якостей), математичні (обробка і узагальнення результатів). **Висновки.** Маючи приблизно однакові з практично здоровими дітьми характеристики фізичного розвитку та гармонійності, діти з хронічними захворюваннями та РАС мають децю відмінну функціональність організму, що створює труднощі в повноцінному оволодінні окремими руховими навичками, нарівні зі здоровими однолітками. Виявлені складнощі з координацією рухів, швидкістю реакції та швидко-силовими якостями у дітей із порушеннями здоров'я слід враховувати при плануванні змісту, форм і методів їхнього фізичного виховання.

**Ключові слова:** здоров'я, фізичний розвиток і гармонійність, хронічні захворювання, розлади аутистичного спектра.

**Постановка проблеми.** Сьогодні пріоритетним напрямком наукових досліджень у медичній, освітній та фізкультурній галузях є профілактика та впровадження здоров'язберігаючих технологій для дітей. Актуальність цих робіт підтверджується статистикою, згідно з якою за останні 10 років в Україні серед підростаючого покоління суттєво збільшилася захворюваність: поширеність хронічних захворювань у дітей підвищилася у 2,87 раза, на 22,9% збільшився контингент дітей з інвалідністю. Найбільша кількість випадків захворювань припадає на порушення зору (зростання в 3,6 раза) та порушення функцій опорно-рухового апарату (в 4,2 раза), хвороби ендокринної системи (збільшення в 3,5 раза), хвороби крові та кровотворних органів (в 2,8 раза), хвороби системи кровообігу (в 1,8 раза), вроджені вади розвитку зросли на 77,6%, хвороби нервової системи – на 43,4%. Найбільш поширеними причинами дитячої інвалідності є розлади психіки та поведінки, хвороби центральної нервової системи, ендокринні хвороби, порушення інтелектуального розвитку, вроджені вади розвитку [2,4,5].

Водночас відомо, що важливу роль у формуванні здоров'я дитини відіграє фізична активність, здатна не лише покращити рухові навички, а й позитивно вплинути на загальний рівень фізичного, психічного, соціального та емоційного благополуччя підростаючого покоління. Регулярна фізична активність, що є одним із ключових елементів розвитку рухових функцій, сприяє покращенню функціонального стану організму дітей, особливо з

порушеннями здоров'я. Крім того, фізична активність позитивно впливає на емоційний і психічний стан дітей, оскільки заняття фізичними вправами сприяють виділенню ендорфінів – гормонів щастя, що допомагають знижувати рівень стресу і підвищувати настрій. А діти з порушеннями здоров'я часто мають підвищений рівень тривожності і стресу, тож регулярні фізичні заняття можуть допомогти їм краще справлятися з емоційними труднощами і підвищити рівень емоційної стабільності [3,8].

**Аналіз останніх публікацій. Статистичні дані.** За останніми даними, в Україні налічується більше 159 тисяч дітей з інвалідністю, що відповідає рівню 2016 року, але враховуючи те, що в цілому в країні стало на 25% менше дітей, – це суттєве зростання. Особливу небезпеку викликає зростання контингенту учнівської молоді з інвалідністю, що за останні роки підвищився майже вдвічі. Так, за оперативними статистичними даними станом на 2025 рік [7], за останні п'ять років кількість учнів з особливими освітніми потребами в інклюзивних класах закладів загальної середньої освіти збільшилась в 1,9 раза, відповідно збільшилась і потреба в інклюзивних класах, число яких зросло в 1,8 раза (табл 1).

Таблиця 1

**Динаміка зростання дітей з особливими освітніми потребами за 2020-2025 рр.**

| Навчальний рік | Кількість учнів з особливими освітніми потребами | Кількість інклюзивних класів |
|----------------|--------------------------------------------------|------------------------------|
| 2020/2021      | 25078                                            | 18681                        |
| 2021/2022      | 32686                                            | 23216                        |
| 2022/2023      | 33861                                            | 24995                        |
| 2023/2024      | 40354                                            | 29321                        |
| 2024/2025      | 47610                                            | 33397                        |

Останнім часом значне занепокоєння фахівців у сфері охорони здоров'я викликає зростання розладів аутистичного спектра (РАС) серед дітей. Загалом в Україні, відповідно до даних електронної системи охорони здоров'я (ЕСОЗ), обліковано 20936 дітей з діагнозом "аутизм" [9]. Найбільше дітей з аутизмом обліковано у Київській (5100), Рівненській (1253), Харківській (1246), і Львівській (1117) областях. У Черкаській області обліковано 937 дітей із діагнозом аутизм, у Дніпропетровській – 983, Хмельницькій – 994, Запорізькій – 909, Закарпатській – 910, Чернівецькій – 821. Дещо нижчими є показники у Чернігівській області (333 дитини), у Сумській (343), Тернопільській (370), Волинській (374), Херсонській (389), Івано-Франківській (435), Одеській (490), Полтавській (540), Донецькій (627), Миколаївській (630), Вінницькій (647), Кіровоградській (652), Житомирській (735).

На стрімке збільшення чисельності осіб із розладами аутистичного спектра наголошується в багатьох країнах світу. За показниками Autism-Europe, – міжнародної асоціації, що налічує сорок європейських країн, включаючи 26 держав-членів Європейського Союзу, у світі налічується понад 10 мільйонів людей, які мають розлади аутистичного спектра (РАС). Так, за останніми даними, у світі приблизно 1 зі 127 осіб мав аутизм. За даними ВООЗ ця оцінка є середнім показником, і зареєстрована поширеність суттєво варіюється в різних дослідженнях [13].

Тож у сучасному світі питання розвитку дітей з розладами аутистичного спектра (РАС) стає дедалі важливішим через зростання кількості діагностованих випадків. І оскільки поширеність РАС зростає, це висуває нові вимоги до системи освіти, реабілітації та фізичного виховання дітей з такими особливостями. Діти з РАС часто мають труднощі з моторною координацією, балансом, витривалістю та загалом розвитком рухових навичок. В результаті вони уникають фізичних навантажень, тож ведуть менш активний спосіб життєдіяльності, що негативно впливає на їхню соціальну адаптацію та якість життя [16,17].

Такі особливості рухової діяльності можуть негативно впливати на загальну фізичну форму дитини, її силу, витривалість, розвиток координації рухів, гнучкість, тобто на формування базових рухових навичок ще й створює ризик травмування дітей під час занять фізичною культурою [1,6,18].

**Мета дослідження** – вивчення розвитку рухових навичок дітей молодшого шкільного віку з різним станом здоров'я (включаючи РАС), як основи для корекції їх рухової діяльності.

Завдання дослідження:

1. Відповідно до медичної документації, оцінити стан здоров'я та фізичний розвиток сучасних дітей молодшого шкільного віку.
2. Дослідити, в порівняльному аспекті, розвиток фізичних якостей, пов'язаних з координацією, рівновагою, швидкістю реагування, силою, витривалістю.
3. Визначити основні труднощі в розвитку рухових функцій молодших школярів із порушеннями здоров'я.

**Матеріали і методи дослідження.** Для отримання об'єктивної інформації, відповідно до визначених завдань, серед методів дослідження використовували аналіз та узагальнення сучасної наукової літератури і оперативних статистичних даних, педагогічний (тестування рухових навичок), математичний.

Стан соматичного здоров'я молодших школярів оцінювався за результатами медичних карт дітей, шляхом викопіювання інформації з первинної медичної документації. Для оцінки фізичного розвитку використовувались антропометричні показники довжини та маси тіла, окружність грудної клітки. За отриманими даними визначали досягнутий рівень та гармонійність фізичного розвитку за класичною методикою стандартів.

Для оцінки рівня розвитку рухових навичок дітей оцінювалися такі показники, як швидкість реакції (реагування на звукові та зорові сигнали – визначався час від появи стимулу до реакції дитини, в сек.), координаційні здібності (вправи з киданням і ловленням м'яча, визначалася кількість успішних ловів), розвиток рівноваги (вправи на утримання рівноваги на одній нозі, оцінювався час в сек.), швидко-силові якості (повторення присідань, к-ть разів/за 20 сек.), гнучкість (нахил тулуба вперед із положення сидячи, в см), силова витривалість (час утримання позиції планка, в сек.). Кожен із цих тестів дозволяє оцінити специфічні аспекти рухових можливостей кожної обстежуваної дитини. Результати тестування в подальшому використовувалися для порівняльної характеристики обстежуваних груп. Для встановлення достовірності різниці між ними використовувався t-критерій Стюдента.

**Організація дослідження.** При комплексній оцінці розвитку рухових якостей дітей молодшого шкільного віку вивчалися базові рухові навички учнів із різним рівнем здоров'я. Обстежувані діти навчалися в Черкаській загальноосвітній школі I-III ступенів №6, або отримували корекційно-розвиткові послуги в Комунальній установі «Інклюзивно – ресурсний центр» Черкаської міської ради Черкаської області чи Комунальному закладі «Черкаський навчально-реабілітаційний центр «Країна добра Черкаської обласної ради». Для аналітичного спостереження застосовувалося угруповання дітей за принципом нейрорізноманіття [10,11]. В групу нейротипових дітей увійшли – 38 осіб, в групу нейровідмінних, яку складали діти з розладами аутистичного спектра – 12 осіб.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Метою першого етапу роботи було вивчення особливостей стану здоров'я та фізичного розвитку нейрорізноманітних дітей – учнів молодшого шкільного віку (Neurodiversity сучасна концепція про те, що існують різні варіації функціонування роботи мозку, що можуть впливати на увагу, сприйняття, емоційну чутливість, взаємодію зі світом, навчання, спілкування [10,11]). В результаті досліджень встановлено, що за узагальненими середніми даними, рівень досягнутого за віком фізичного розвитку дітей практично не відрізнявся (табл. 2).

Таблиця 2

**Показники фізичного розвитку молодших школярів 7-8 років (рівень, гармонійність)**

| Угрупування дітей                | Рівень фізичного розвитку (у %) |             |                |                      |           |
|----------------------------------|---------------------------------|-------------|----------------|----------------------|-----------|
|                                  | високий                         | в/с         | середній       | н/с                  | низький   |
| нейротипові                      | 7,89±4,37                       | 26,32±7,14  | 39,47±7,93     | 21,05±6,61           | 0,73±0,51 |
| З РАС                            | 16,67±10,76                     | 33,33±13,61 | 33,33±13,61    | 16,67±10,76          | -         |
| Гармонійність фізичного розвитку |                                 |             |                |                      |           |
|                                  | гармонійний                     |             | дисгармонійний | різко дисгармонійний |           |
| нейротипові                      | 78,95±6,61                      |             | 18,42±6,29     | 2,63±2,60            |           |
| З РАС                            | 83,33±10,76                     |             | 16,67±10,76    | -                    |           |

Отже оцінка фізичного розвитку дітей молодшого шкільного віку продемонструвала, що середній фізичний розвиток мали 39,47±7,93% нейротипових школярів і 33,33±13,61% нейровідмінних ( $p>0,5$ ), вище середнього фізичний розвиток мали 26,32±7,14% нейротипових учнів і 33,33±13,61% нейровідмінних ( $p>0,5$ ), нижче середнього мали 21,05±6,61% нейротипових учнів та 16,67±10,76% нейровідмінних ( $p>0,5$ ), високий фізичний розвиток відмічався у 7,89±4,37% нейротипових школярів і в 16,67±10,76% нейровідмінних, низький - лише у 0,73±0,51% нейротипових учнів.

Також дослідженнями було встановлено, що гармонійний розвиток мали 78,95±6,61% нейротипових учнів та 83,33±10,76% нейровідмінних ( $p>0,5$ ), дисгармонійний розвиток мали 18,42±6,29% нейротипових школярів та 16,67±10,76% нейровідмінних ( $p>0,5$ ), різко дисгармонійний розвиток фіксувався лише в одному випадку серед нейротипових дітей (2,63±2,60%).

На подальшому етапі дослідження вивчався розвиток рухових умінь і навичок, що є важливим при роботі з дітьми із хронічною патологією та певними особливостями в розвитку, оскільки його оцінка дозволяє визначити здатність дитини до виконання основних завдань, як життєвого характеру, так і задач у фізичному вихованні. В залежності від стану здоров'я, дітей розподілили на три групи: в першу було віднесено нейротипових учнів з відсутністю захворювань/практично здорових (I-II групи здоров'я) – 23 осіб, в другу групу увійшли нейротипові школярі з хронічними соматичними захворюваннями (III групою здоров'я, які мали хвороби ендокринної системи, органів травлення, опорно-рухового апарату, органів дихання) – 15 осіб, третю склали нейровідмінні діти з розладами аутистичного спектра – 12 дітей молодшого шкільного віку.

Дослідження розвитку рухових навичок сучасних дітей молодшого шкільного віку показали, що в даній віковій категорії стан здоров'я має вирішальний вплив лише на окремі фізичні кондиції школярів (табл. 3).

Згідно з отриманими даними, у дітей із розладами аутистичного спектра виникають певні складніші з виконанням координаційних завдань, про що свідчить тестування з ловлею м'яча, результати якого були достовірно нижчими, ніж в нейротипових групах: кількість успішних ловів м'яча у дітей із РАС складала 4,13±0,86 та відповідно 8,94±1,26 – 9,45±1,34 у нейротипових учнів ( $p<0,05$ ). На певні порушення розвитку моторики у нейровідмінних дітей також вказує повільніший час реагування на звукові та зорові сигнали: 2,46±0,17 сек. та відповідно 1,00±0,16 – 1,12±0,16 сек. у нейротипових дітей ( $p<0,05$ ). Отримані дані підкреслюють, що діти з РАС можуть відчувати труднощі в оволодінні більш складнішими фізичними завданнями. Зниження рухових здібностей, пов'язані зі швидкістю реагування та координаційною здатністю, можуть створювати загальні проблеми з адаптацією дітей до навколишнього світу, що є необхідним для успішного функціонування в соціальному середовищі.



Таблиця 3

**Результати тестування рухових навичок дітей 7-8 років з різним станом здоров'я  
(середні арифметичні значення з середніми квадратичними відхиленнями)**

| Фізичні якості                                          | Практично здорові |             |       | З хронічними захворюваннями |             |       | З розладами аутистичного спектра |             |
|---------------------------------------------------------|-------------------|-------------|-------|-----------------------------|-------------|-------|----------------------------------|-------------|
|                                                         | X                 | $\pm\sigma$ | p     | X                           | $\pm\sigma$ | p     | X                                | $\pm\sigma$ |
| Координація рухів (к-ть ловів м'яча)                    | 9,45*             | 1,76        | <0,05 | 8,94*                       | 1,68        | <0,05 | 4,13                             | 1,32        |
| Рівновага (час утримання на одній нозі, с)              | 9,20              | 2,34        | >0,05 | 10,29                       | 2,46        | >0,05 | 4,80                             | 2,15        |
| Швидкісно-силові якості (к-ть присідань)                | 14,47*            | 2,60        | <0,05 | 8,02#                       | 1,93        | <0,05 | 7,21                             | 2,04        |
| Силова витривалість (час утримання позиції планка, с)   | 8,84              | 3,71        | >0,05 | 7,23                        | 2,84        | >0,05 | 7,02                             | 2,53        |
| Гнучкість (нахил вперед, см)                            | 10,78             | 2,19        | >0,05 | 11,16                       | 2,24        | >0,05 | 10,75                            | 2,87        |
| Швидкість реакції (час від появи стимулу до реакції, с) | 1,12**            | 0,23        | <0,05 | 1,0**                       | 0,21        | <0,05 | 2,46                             | 0,25        |

Примітка: достовірність різниці між відповідними показниками нейротипових і нейровідмінних дітей (з РАС) \* – на рівні ( $p<0,05$ ); \*\* – на рівні ( $p<0,01$ ); # – достовірність різниці між відповідними показниками дітей із наявністю і відсутністю хронічної патології ( $p<0,05$ ).

Такі результати дещо підтверджуються в подібних дослідженнях, дані яких свідчать, що фізичний розвиток дітей із РАС відрізняється значною специфічністю у розвитку крупної і дрібної моторики [12,14-15]. Відмічається, що нейровідмінні діти, особливо з розладами аутистичного спектра, часто стикаються з різноманітними руховими розладами. Ці порушення стосуються проблем із постуральним контролем, що впливає на виконання як простих статичних завдань, так і складніших динамічних рухів. Проблеми з утриманням рівноваги викликають труднощі з виконанням точних рухів, нездатністю чітко відтворювати окремі рухи. Окрім цього зазначається, що у дітей з РАС може бути нижчий рівень витривалості та розвитку м'язової сили, в порівнянні з їхніми нормотиповими ровесниками [14-15]. Однак в наших спостереженнях достовірної різниці показників силової витривалості в нейротипових та нейровідмінних групах не відмічалось ( $p>0,05$ ). Щодо показників утримання рівноваги, то в наших дослідженнях у нормотипових дітей відмічався кращий контроль відчуття рівноваги, але на рівні тенденції ( $p>0,05$ ), адже достовірних відмінностей між показниками обстежуваних груп виявлено не було (рис. 1). Проте припускаємо, що результати могли б бути іншими, при більшій чисельності обстежуваних.

Також в ході досліджень звернули увагу на виявлені відмінності в розвитку швидкісно-силових якостей в дітей із відсутністю хвороб і наявністю хронічних захворювань чи особливостей в розвитку (при РАС): здорові школярі виконували  $14,47\pm 2,0$  присідань за 20 секунд, в той час як діти з хронічними захворюваннями  $8,02\pm 1,45$  присідань ( $p<0,05$ ), діти з розладами аутистичного спектра  $7,21\pm 1,64$  присідань ( $p<0,05$ ). Оскільки дана вправа характеризує здатність до прояву зусиль за короткий час, поєднуючи силу та швидкість м'язового скорочення, по ній можна судити про загальну функціональність організму, яка в свою чергу визначає взаємоузгодженість роботи різних систем (серцево-судинної, нервової, опорно-рухової) для виконання дії. Тож, отримані нами результати показують, як від рівня здоров'я залежить цілісність функціональних систем, що об'єднують різні органи і системи організму для досягнення спільних цілей, в даному випадку – пристосування до фізичних навантажень.

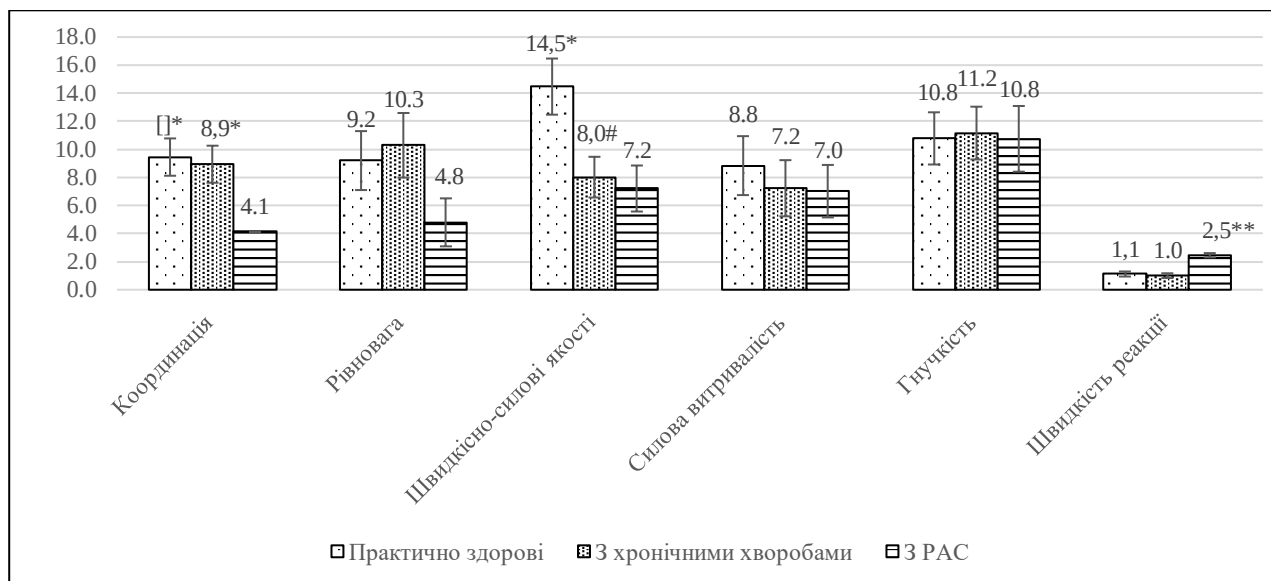


Рис. 1. Розвиток рухових якостей дітей із різним станом здоров'я ( $X \pm m$ ): достовірність різниці між відповідними показниками нейротипових і нейровідмінних дітей (з РАС) \* – на рівні ( $p < 0,05$ ); \*\* – на рівні і ( $p < 0,01$ ); # – достовірність різниці між відповідними показниками дітей із наявністю і відсутністю хронічної патології ( $p < 0,05$ )

**Висновок.** Маючи приблизно однакові зі здоровими характеристики фізичного розвитку та гармонійності, діти з хронічними захворюваннями та розладами аутистичного спектру мають дещо відмінну функціональність організму, що створює труднощі в повноцінному оволодінні окремими руховими навичками:

- точність координації рухів і швидкість реакції є одними з найбільш уразливих навичок дітей із розладами аутистичного спектра, на що вказали нижчі, ніж у здорових дітей результати виконання вправ, що потребують концентрації та контрольованих рухів ( $p < 0,05$  -  $p < 0,01$ );

- наявність хронічних захворювань може ускладнювати або знижувати здатність організму адаптуватися до інтенсивних швидкісно-силових навантажень, про що свідчать нижчі результати тестування, порівняно зі здоровими однолітками ( $p < 0,05$ ).

Нижча результативність у виконанні рухових вправ дітьми з особливими потребами може некоректно відображати їхній рівень фізичної підготовки. Це підкреслює необхідність для вчителів фізичної культури обов'язково враховувати стан здоров'я та особливості розвитку кожного учня при оцінюванні завдань та плануванні занять.

**Практичне значення результатів дослідження.** Отримані дані можуть стати в нагоді при вирішенні проблем змісту, форм і методів фізичного виховання молодших школярів із порушеннями здоров'я, даючи можливість звернути увагу на слабкі позиції в спектрі рухових навичок дітей.

**Перспективи подальших досліджень.** Виявлені труднощі з руховими навичками, в особливості такими як координація рухів та швидкість реакції, можуть бути чутливим індикатором наявності розладів аутистичного спектра, особливо коли прояви РАС не є очевидними. Надалі вважаємо логічним перевірити робочу гіпотезу, залучивши до спостереження дітей інших вікових категорій.

#### Список використаної літератури

1. Дубовик К. В., & Марценковський І. А. (2019). Порушення рухових функцій при розладах аутистичного спектра у дітей. Клінічна типологія та терапія. *НейроNews: Психоневрологія і нейропсихіатрія*, 3(104), 22-28.
2. Карпінська Т.Г., Грабовська Т.В., Серeda С.В., Короткий В.В. (2021). Показники стану здоров'я сучасних підлітків, як одна із складових здоров'я населення держави. *Укр. мед. часопис*, 3 (143) – V/VI, 84-86. <https://doi.org/10.32471/umj.1680-3051.143.209478>.

3. Котко Д.М., Гончарук Н.Л., Шматова О.О., Шевцов С.М. (2023). Рухова активність як одна з найпоширеніших форм покращення здоров'я різних груп населення. *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова*. 9(169), 74-80. [https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2023.9\(169\).16](https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2023.9(169).16)
4. Круцевич Т, Червотока М. (2019). Стан захворюваності школярів у регіонах України протягом навчання в школі. *Теорія і методика фізичного виховання і спорту*, 2, 57-62 <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2019.2.57-62>
5. Лісневська, Н.В. (2025). Аналіз стану здоров'я дітей дошкільного віку та шляхи його збереження і зміцнення в умовах закладу дошкільної освіти. Проблеми сучасних трансформацій. Серія: педагогіка та психологія, (8). <https://doi.org/10.54929/2786-9199-2025-8-02-01>
6. Ляхова, І., & Барішников, А. (2023). Особливості психомоторного розвитку дітей із розладами спектру аутизму як основа для корекції їх рухової діяльності. *Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15, 3К(162)*, 233-238. [https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2023.3К\(162\).47](https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2023.3К(162).47)
7. МОН України. Оперативні статистичні дані (2025). URL: <https://mon.gov.ua/osvita-2/inklyuzivne-navchannya/statistichni-dani> Доступ 08.12.25
8. Носко М.О., Носовець Н.М., Носко Ю.М., Макогончук Н.В., Грищенко С.В. (2024). Медичні та соціальні аспекти здоров'язбереження підлітків віком 11-14 років шляхом удосконалення рухової активності. *Сучасна педіатрія. Україна*. 5(141), 80-88. [https://doi.org/10.15574/SP.2024.5\(141\).8088](https://doi.org/10.15574/SP.2024.5(141).8088).
9. Укрінформ. Українське національне інформаційне агентство URL: [https://www.ukrinform.ua/rubric-health/3769403-v-ukraini-na-obliku-ponad-20-tisac-ditej-z-autizmom.html?fbclid=IwAR1n70f808PAuxZK6dFkgyNvAcj3o5M\\_exrZaXo3mBT3QHyiU0WL3hKFeTE](https://www.ukrinform.ua/rubric-health/3769403-v-ukraini-na-obliku-ponad-20-tisac-ditej-z-autizmom.html?fbclid=IwAR1n70f808PAuxZK6dFkgyNvAcj3o5M_exrZaXo3mBT3QHyiU0WL3hKFeTE) Доступ 08.12.25
10. Dawson G., Franz L., Brandsen S. (2022). At a crossroads – reconsidering the goals of autism early behavioral intervention from a neurodiversity perspective. *JAMA Pediatrics*, 176(9), 839–840. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2022.2299>
11. Dwyer P. (2022). The neurodiversity approach(es): What are they and what do they mean for researchers? *Human Development*, 66(2), 73–92. <https://doi.org/10.1159/000523723>
12. Elias R., Lord C. (2022). Diagnostic stability in individuals with autism spectrum disorder: Insights from a longitudinal follow-up study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 63(9), 973–983. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13551>
13. World Health Organization. Global report on children with developmental disabilities; URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240080232> Доступ 08.12.25
14. Huseyin O. (2019). The impact of sport activities on basic motor skills of children with autism. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports.*;23(3), 138-44. <https://doi.org/10.15561/18189172.2019.0305>
15. Mache, M.A., & Todd, T.A. (2016). Gross motor skills are related to postural stability and age in children with autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 23, 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2016.01.001>
16. Ohara R., Kanejima Y., Kitamura M.P., Izawa K. (2019). Association between social skills and motor skills in individuals with autism spectrum disorder: a systematic review. *European journal of investigation in health, psychology and education*. 10, 276–96. <https://doi.org/10.3390/ejihpe10010022>
17. Pan, C.-Y., & Frey, G. C. (2020). Relationships between physical activity intensity, sleep, and mood in youth with autism spectrum disorder. *Autism*, 24(5), 1234–1242. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0101-6>.
18. Yinhua Li, et al. (2023). The Effects of Physical Activity Interventions in Children with Autism Spectrum Disorder: a Systematic Review and Network Meta-analysis. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s40489-023-00418-x>.

#### References

1. Dubovik K. V., & Martsenkovsky I. A. (2019). Motor function disorders in autism spectrum disorders in children. Clinical typology and therapy. *NeuroNews: Psychoneurology and neuropsychiatry*, 3(104), 22-28.
2. Karpinska T. G., Grabovska T. V., Sereda S. V., Korotkyi V. V. (2021). Health indicators of modern adolescents as one of the components of the health of the state population. *Ukrainian Medical Journal*, 3 (143) – V/VI, 84-86. <https://doi.org/10.32471/umj.1680-3051.143.209478>.
3. Kotko D. M., Goncharuk N. L., Shmatova O. O., Shevtsov S. M. (2023). Physical activity as one of the most common forms of improving the health of different population groups. *Scientific Journal of the NPU named after M.P. Dragomanov*. 9(169), 74-80. [https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2023.9\(169\).16](https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2023.9(169).16)
4. Krutsevich T, Chervotoka M. (2019). The state of morbidity of schoolchildren in the regions of Ukraine during schooling. *Theory and methods of physical education and sports*, 2, 57-62 <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2019.2.57-62>
5. Lisnevskaya, N.V. (2025). Analysis of the health of preschool children and ways to preserve and strengthen it in the conditions of a preschool educational institution. Problems of modern transformations. Series: pedagogy and psychology, (8). <https://doi.org/10.54929/2786-9199-2025-8-02-01>

6. Lyakhova, I., & Baryshnikov, A. (2023). Peculiarities of psychomotor development of children with autism spectrum disorders as a basis for the correction of their motor activity. *Scientific Journal of the Mykhailo Drahomanov Ukrainian State University. Series 15, 3K(162)*, 233-238. [https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2023.3K\(162\).47](https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2023.3K(162).47)
7. Ministry of Education and Science of Ukraine. Operational statistical data (2025). URL: <https://mon.gov.ua/osvita-2/inklyuzivne-navchannya/statistichni-dani> Accessed 08.12.25
8. Nosko M.O., Nosovets N.M., Nosko Yu.M., Makogonchuk N.V., Grishchenko S.V. (2024). Medical and social aspects of health protection of adolescents aged 11-14 years by improving physical activity. *Modern Pediatrics. Ukraine*. 5(141), 80-88. [https://doi.org/10.15574/SP.2024.5\(141\).8088](https://doi.org/10.15574/SP.2024.5(141).8088).
9. Ukrinform. Ukrainian National News Agency URL: [https://www.ukrinform.ua/rubric-health/3769403-v-ukraini-na-obliku-ponad-20-tisac-ditej-z-autizmom.html?fbclid=IwAR1n70f808PAuxZK6dFkgyNvAcj3o5M\\_exrZaXo3mBT3QHyiU0WL3hKFeTE](https://www.ukrinform.ua/rubric-health/3769403-v-ukraini-na-obliku-ponad-20-tisac-ditej-z-autizmom.html?fbclid=IwAR1n70f808PAuxZK6dFkgyNvAcj3o5M_exrZaXo3mBT3QHyiU0WL3hKFeTE) Accessed 08.12.25
10. Dawson G., Franz L., Brandsen S. (2022). At a crossroads – reconsidering the goals of autism early behavioral intervention from a neurodiversity perspective. *JAMA Pediatrics*, 176(9), 839–840. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2022.2299>
11. Dwyer P. (2022). The neurodiversity approach(es): What are they and what do they mean for researchers? *Human Development*, 66(2), 73–92. <https://doi.org/10.1159/000523723>
12. Elias R., Lord C. (2022). Diagnostic stability in individuals with autism spectrum disorder: Insights from a longitudinal follow-up study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 63(9), 973–983. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13551>
13. World Health Organization. Global report on children with developmental disabilities; URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240080232> Доступ 08.12.25
14. Huseyin O. (2019). The impact of sport activities on basic motor skills of children with autism. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports.*;23(3), 138-44. <https://doi.org/10.15561/18189172.2019.0305>
15. Mache, M.A., & Todd, T.A. (2016). Gross motor skills are related to postural stability and age in children with autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 23, 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2016.01.001>
16. Ohara R., Kanejima Y., Kitamura M.P., Izawa K. (2019). Association between social skills and motor skills in individuals with autism spectrum disorder: a systematic review. *European journal of investigation in health, psychology and education*. 10, 276–96. <https://doi.org/10.3390/ejihpe10010022>
17. Pan, C.-Y., & Frey, G. C. (2020). Relationships between physical activity intensity, sleep, and mood in youth with autism spectrum disorder. *Autism*, 24(5), 1234–1242. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0101-6>.
18. Yinhua Li, et al. (2023). The Effects of Physical Activity Interventions in Children with Autism Spectrum Disorder: a Systematic Review and Network Meta-analysis. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s40489-023-00418-x>.

**Svietlova O. D., Sipko L. O.**

## **FEATURES OF MOTOR SKILLS DEVELOPMENT IN PRIMARY SCHOOL CHILDREN WITH HEALTH DISORDERS**

According to statistical data, the health status of the younger generation in Ukraine has significantly deteriorated. Over the past decade, the prevalence of chronic diseases among children has increased 2.87 times. During the last five years, the number of students with special educational needs in inclusive classes of general secondary education institutions has grown 1.9 times, which has also increased the demand for inclusive classes, the number of which has risen 1.8 times. Specialists in the field of healthcare are also seriously concerned about the growing incidence of autism spectrum disorders (ASD) among children. As of 2025, a total of 20,936 children in Ukraine have been officially diagnosed with autism. At the same time, it is well known that physical activity plays an important role in maintaining health, as it not only improves motor skills but also positively influences the overall physical, mental, social, and emotional well-being of a child.

The aim of the study was to examine the development of motor skills in primary school children with varying health conditions (including autism spectrum disorders) as a basis for correcting their motor activity.

Research methods included analysis and generalization, medical-biological methods, pedagogical approaches (motor skills testing), and mathematical processing. The somatic health status of younger schoolchildren was assessed using data extracted from their medical records.

*Physical development was evaluated through anthropometric indicators such as body height, body weight, and chest circumference. Based on these data, the achieved level and harmony of physical development were determined according to classical standard methods. To assess children's motor skills development, the study measured reaction speed, coordination abilities, balance development, speed-strength qualities, flexibility, and muscular endurance. Testing results served as the basis for comparative analysis of three groups: conditionally healthy children, children with chronic somatic diseases, and children with autism spectrum disorders. Student's t-test was used to determine the significance of differences between indicators.*

*Results. Although children with chronic illnesses or autism spectrum disorders show nearly the same physical development and proportionality as healthy peers, their functional abilities differ in a way that complicates full mastery of certain motor skills:*

*Coordination accuracy and reaction speed are among the most vulnerable motor skills in children with autism spectrum disorders, as indicated by lower performance results in tasks requiring concentration and controlled movements compared to healthy children ( $p < 0.05$  –  $p < 0.01$ ).*

*The presence of chronic diseases may hinder or reduce the body's ability to adapt to intensive speed-strength loads, which is reflected in lower test results compared to their healthy peers ( $p < 0.05$ ).*

*Conclusion. Certain functional differences in the bodies of children with health disorders may slow down the acquisition of specific motor skills, which should be considered when planning the content, forms, and methods of physical education for younger schoolchildren. Additionally, when evaluating students' performance in physical education, teachers should take into account the weaker aspects of motor skills in children with developmental peculiarities or chronic conditions.*

**Keywords:** *health, physical development and proportionality, chronic diseases, autism spectrum disorders. Features of the development of motor skills of primary school children with health disorders*

Надійшла до редакції / Received: 20.10.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.12.2025

UDC 612.13+612.172+612.67:796.015.1

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-2-70-87

**Yaroslav Igorovitch Soynikov**

National University of Ukraine on Physical Education and Sport

[jaroslavsojnikov@gmail.com](mailto:jaroslavsojnikov@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6080-1024>

**Halyna Volodymyrivna Lukyantseva**

National University of Ukraine on Physical Education and Sport

[lukjantseva@gmail.com](mailto:lukjantseva@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8054-0108>

## REACTIVE AND ADAPTIVE CHANGES OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM IN MEN IN RESPONSE TO DIFFERENT TYPES OF PHYSICAL EXERCISE: PHYSIOLOGICAL AND TRAINING CONTEXT

*The article examines reactive and adaptive alterations of the cardiovascular system in men across various stages of ontogenesis under the influence of physical exercises of different orientations. **Purpose.** To identify age-related features of reactive and adaptive changes in the cardiovascular system of men in response to exercise of different metabolic orientations and to characterize the mechanisms underlying hemodynamic responses and training-induced adaptations. **Methods.** A systematic analysis of contemporary scientific literature was conducted using PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar. More than 700 sources were initially screened using keywords related to age-dependent hemodynamic responses to various exercise types. Following multi-stage relevance assessment and full-text evaluation, 109 publications were included in the final synthesis.*

***Main results.** Adolescence is characterized by predominant sympathetic reactivity and instability of baroreflex control. Men in early adulthood exhibit the highest degree of morphofunctional maturity of the heart and vasculature, demonstrating efficient training adaptations and an optimal autonomic balance. Older age is associated with reduced stroke volume, increased arterial stiffness, and delayed parasympathetic reactivation. Exercise modality significantly shapes the response profile: aerobic exercise enhances tissue perfusion, anaerobic training induces peak pressor responses, mixed exercise elicits alternating sympathetic and vasodilatory phases, while functional training improves intermuscular coordination and postural circulatory regulation.*

***Scientific novelty.** Age-specific models of cardiovascular reactivity and adaptation have been systematized. Early adulthood is substantiated as the physiologically optimal period for achieving maximal training effects. Intracollective differences in hemodynamic responsiveness within adolescent and adult groups are identified and linked to the degree of cardiovascular and autonomic maturation.*

***Conclusions and recommendations.** Age-related physiological characteristics necessitate individualized training strategies: adolescents require gradual load progression with emphasis on stabilizing autonomic regulation; adult men benefit most from combined and functional training modalities; older individuals should prioritize aerobic and low-intensity exercises with careful monitoring of hemodynamic parameters.*

***Keywords:** circulatory system, heart, blood vessels, hemodynamics, physical exercise, reactivity, adaptation, men.*

**Formulation of the problem.** The cardiovascular system plays a central role in enabling the organism to adapt to physical and athletic loads, maintaining homeostasis under conditions of elevated metabolic demand [1–3]. Different types of physical exercise elicit complex hemodynamic

responses involving changes in heart rate (HR), stroke volume (SV), cardiac output (CO), arterial blood pressure (BP), and the redistribution of peripheral vascular resistance (PVR) [4–6]. These reactions are mediated by neurohumoral mechanisms whose sensitivity and efficiency change with age [7, 8]. Men of different age groups show marked differences in hemodynamic reactivity due to age-related alterations in myocardial structure and function, vascular status, and autonomic regulation [9, 10]. Adolescence features dominant sympathetic activation and high rhythm variability, adulthood a more stable but less flexible response, and older age reduced reserves, slower regulatory adjustments, and increased risk of hemodynamic instability. The type of physical exercise also exerts a significant influence on the pattern of the hemodynamic response. Aerobic, anaerobic, mixed, and functional training loads activate distinct adaptive mechanisms operating within specific metabolic and neurovegetative contexts [13–15]. Investigating age-related features of cardiovascular reactivity and adaptation to muscular work is essential not only for sports physiology but also for the prevention of cardiovascular diseases and the development of effective individualised training programmes.

**The purpose of the study.** To determine the age-specific characteristics of reactive and adaptive changes in the cardiovascular system of men in response to physical exercises of different orientations and to characterise the mechanisms underlying hemodynamic responses and training adaptation.

**Research materials and methods.** The analysis of specialised scientific literature was conducted by reviewing sources indexed in PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, and the Cochrane Library over the past 10–15 years, with priority given to publications from 2020–2025. The literature search employed the following keywords: “cardiovascular reactivity”, “exercise-induced hemodynamic response”, “training adaptation”, “age-related cardiovascular changes”, “men”, “aerobic exercise”, “anaerobic exercise”, and “functional training”.

Using these search terms, over 700 records were identified. After removing duplicates and performing an initial title-based screening, 426 publications remained. Subsequent selection followed a stepwise algorithm: if the study topic aligned with the research focus, abstracts were analysed, and when appropriate, full texts were reviewed. The final analysis included publications that contained data on age-specific mechanisms of hemodynamic reactivity, adaptive changes in cardiac and vascular function under different types of physical exercise, and regulatory features of the cardiovascular system. Ultimately, 109 scientific works were included in the review, systematically organised and critically analysed.

**Research results and their discussion.** The cardiovascular system is a key target for examining reactive and adaptive responses to athletic loads. Circulatory reactivity is defined as the acute response to muscular work, manifested by rapid increases in heart rate (HR), stroke volume (SV), cardiac output (CO), and arterial blood pressure (BP), as well as the redistribution of blood flow between active and inactive muscle groups and internal organs [16, 17]. These reactions reflect the organism’s functional reserves, the speed of compensatory adjustments, and the ability to maintain dynamic homeostatic balance during physical activity.

Adaptive hemodynamic changes, in contrast to reactive shifts, develop gradually and have a chronic character, emerging as a consequence of regular training stimuli [17–19]. They include cardiac remodelling (increased SV, enhanced diastolic filling, and improved myocardial contractility) and vascular remodelling (greater arterial elasticity, increased skeletal muscle capillarisation, improved endothelial function, etc.) [18–20]. Such changes contribute to the economisation of cardiac work through reduced HR (physiological bradycardia) and enhanced pumping efficiency, as well as improved perfusion of working muscles during exercise.

Acute cardiovascular responses form the basis for long-term structural and functional adaptations, with their intensity and quality determining the direction and magnitude of the adaptive process [19, 20]. Alterations in CO during muscular work directly influence SV and oxygen transport, highlighting the importance of reactive mechanisms for subsequent adaptation [21]. Regular physical activity induces specific vascular adaptations that enhance the overall efficiency of

the circulatory system [22]. Evidence also indicates differences in central hemodynamic reactivity following dynamic versus static exercise, which is essential for the individualisation of training programmes [23–25].

The physiological response of the circulatory system to muscular work results from the complex interaction of numerous internal and external factors that determine individual patterns of reactivity and adaptation. Key determinants include genetically mediated characteristics of the heart and vasculature, training status, age, sex, overall functional condition, as well as the type, intensity, duration, and specificity of exercise [26, 27]. Even within the same mode of muscular work, macro- and microhemodynamic parameters may vary substantially depending on individual adaptation level, neurohumoral regulatory efficiency, and peripheral vascular functionality [26, 28–30].

Exercise technique and training experience play a decisive role in shaping response variability by influencing the degree of morphofunctional remodelling of cardiac and vascular structures [31, 32]. Individuals with high aerobic fitness demonstrate a tendency toward greater cardiac economy, increased SV, and lower HR at comparable workloads [33, 34]. Conversely, untrained individuals or athletes subjected to chronic overload may exhibit reduced vascular reactivity and impaired restoration of hemodynamic indices, indicating dysfunction of regulatory mechanisms and diminished adaptive potential of the cardiovascular system [35–37]. Sex and age also substantially affect response dynamics: women typically show lower SV and higher HR compared to men under similar loads, whereas aging is associated with reduced vascular elasticity, altering BP responses during exercise [38, 39].

Thus, the individual circulatory response to different types of physical exercise represents a multifactorial process shaped by both life-long and training-related experience, reflecting the level of functional capacity and the potential for further adaptation. An analysis of these responses not only enables the optimisation of training strategies but also allows the early detection of overload, reduced tolerance, or emerging dysfunction within cardiac and vascular regulation.

Training modalities are commonly classified according to the predominant energy supply supporting muscular activity. Aerobic, anaerobic, combined, and functional training differ markedly in loading characteristics, recruitment of metabolic pathways, duration, intensity, and the orientation of adaptive changes.

Aerobic training is characterised by prolonged performance of moderate-intensity muscular work with dominant oxidative energy production, as seen in long-distance running, swimming, cycling, and race walking [18, 19]. The primary energy source is aerobic oxidation of carbohydrates and fats in the presence of oxygen within skeletal muscle mitochondria [19, 20].

Anaerobic training consists of exercises of high or near-maximal intensity, where oxygen delivery cannot meet metabolic demand, leading the organism to rely on anaerobic glycolysis or the phosphagen system — such as sprinting, heavy resistance training, jumping activities, or short intervals of high-intensity exercise [20, 21]. It is characterised by lactate production, high rates of energy turnover, and rapid depletion of energy stores [21, 40]. Adaptive responses include increased glycolytic capacity, enhanced muscle buffering potential, hypertrophy of fast-twitch fibres, and improved anaerobic tolerance.

Combined training integrates both aerobic and anaerobic components and aims to simultaneously develop several fitness qualities — endurance, strength, speed, and coordination [41, 42]. High-intensity interval training (HIIT) is a typical example, alternating short anaerobic bouts with aerobic recovery intervals. This modality produces multi-energy loading and induces adaptations across several systems, including cardiovascular, respiratory, and neuromuscular.

Functional training focuses on improving movement patterns applicable to daily activity, sport, or rehabilitation. Unlike traditional isolated exercises, functional training engages multiple muscle groups simultaneously, involving both central and peripheral mechanisms of motor regulation [43, 44, 45, 46]. This includes bodyweight exercises, unstable-surface training, TRX systems, and tasks requiring variable stabilization, balance, and movement trajectories. Physiologically, such training enhances intermuscular coordination, proprioception, flexibility, and balance.



The choice of training modality depends on the targeted objective, level of preparedness, and functional status of the individual. Aerobic and anaerobic components may be alternated or combined to develop comprehensive physical fitness, whereas functional approaches support the transfer of trained skills to specific movement tasks. Contemporary research underlines the importance of individualised exercise selection based on physiological responses and adaptive profiles.

Reactive and adaptive cardiovascular changes in men in response to different types of physical exercise vary substantially with age.

In late adolescence (17–21 years), the circulatory system undergoes the final stages of morphofunctional maturation, exhibiting high plasticity but still incomplete regulatory integration.

The heart attains nearly adult anatomical dimensions; however, the functional maturity of cardi hemodynamics develops gradually, particularly regarding the integration of central and peripheral regulatory circuits. Resting HR in adolescent males typically remains slightly elevated (approximately 70–75 bpm), driven by predominant sympathetic activity [47, 48]. SV and CO have not yet reached the optimal values characteristic of early adulthood, as the finalisation of myocardial inotropic function and full correspondence of diastolic filling are still in progress [15, 49]. PVR tends to be lower due to the high elasticity of the arterial tree. BP remains within age norms, though greater fluctuations may occur under physical or emotional stress because baroreflex control is not yet fully matured [5, 50]. Hyperreactive responses, including hypertension, may occasionally be observed.

Heart rate variability (HRV) serves as a key indicator of autonomic homeostasis. In adolescence, HRV remains relatively high, reflecting substantial adaptive reserves, although the balance between sympathetic and parasympathetic activity is not yet stable [51, 52]. This instability may result in disproportionate chronotropic and inotropic responses to changes in posture, temperature, or psycho-emotional state [52, 53]. From the standpoint of endothelial function, production of vasoactive mediators (nitric oxide, prostacyclin) is elevated, but vascular reactivity has not yet reached maximal sensitivity to metabolic stimuli — a factor of importance during high-intensity muscular work [54, 55]. At this age, structural remodelling of arteriolar smooth muscle also progresses, shaping the future adaptive capacity of the vascular system.

Hormonal regulation plays a particularly prominent role in this period, driven by elevated levels of testosterone, growth hormone, and IGF-1 [56, 57]. These hormones support anabolic stimulation of the myocardium, enhance energy metabolism, increase contractile performance, and contribute to the overall functional tone of the cardiovascular system.

The incomplete morphofunctional maturation of the circulatory system in adolescent males determines the specificity of their responses to different types of physical exercise. Hemodynamic reactions at this age develop against the background of not fully consolidated neurovegetative regulation, ongoing myocardial remodelling, and active hormonal transformation. During prolonged moderate-intensity cyclic exercise (running, swimming, cycle ergometry), adolescents exhibit a marked increase in HR, moderate growth in SV, and elevation of CO [58, 59]. The hemodynamic response is predominantly chronotropic, as inotropic and vasodilatory reserves are not yet fully developed. Following exercise cessation, delayed recovery of baseline HR and BP is often observed, indicating functional immaturity of baroreflex regulation [59, 60].

In response to anaerobic or static exercise (resistance training, isometric holds), the hemodynamic reaction is characterised by a sharp increase in systolic and diastolic BP, a substantial rise in HR, and elevated PVR [24, 61, 62].

This pattern results from the centralisation of circulation, activation of sympathetic pathways, and catecholamine release under conditions of insufficient vasodilatory compensation in active muscle groups. In adolescent males, these responses may be hyperreactive or labile, manifested by inadequate control of systemic BP and uneven blood distribution.

Mixed exercises (aerobic–anaerobic), such as high-intensity interval training, circuit training, or team sports, elicit a combined hemodynamic response in adolescents, involving

alternating phases of sympathetic activation and reactive vasodilation [63, 64]. At this developmental stage, regulatory mechanisms lack full synchronisation, leading to marked HR variability, transient periods of increased cardiac loading, delayed stabilisation of venous return, and potential disturbances in BP regulation [63, 64, 65]. These factors necessitate careful dosage of exercise.

Functional training (e.g., TRX, unstable-surface exercises) requires substantial involvement of postural control, microcirculatory regulation, and hemodynamic plasticity. In adolescents, such training activates compensatory reserves of venous return, modifies deep stabiliser muscle tone, and enhances HRV, but may provoke orthostatic instability or BP fluctuations due to incomplete integration of autonomic responses [66, 67]. Despite this, functional training is regarded as a promising modality for developing autonomic balance in youth.

Thus, in adolescent males, the circulatory system remains in a transitional stage between completed anatomical development and full functional maturity, which underlies its sensitivity to external stimuli, high reactivity, and variability of adaptive responses. These factors must be taken into account when interpreting exercise reactions, designing individual training programmes, and preventing cardiovascular dysfunction.

The period of early adulthood in men is characterised by the highest stability and functional completeness of the circulatory system.

An optimal relationship between myocardial structural maturity and functional efficiency provides favourable conditions for adaptation to physical and psycho-emotional loads [68, 69]. At this ontogenetic stage, the heart exhibits its best contractile performance: SV, contraction and relaxation rates, and overall systolic–diastolic function fall within the upper physiological range [13, 25, 70]. Cardiac output adequately supports elevated metabolic demands, particularly during physical activity. Hemodynamic parameters are stable and demonstrate clear autoregulation with rapid adaptive adjustment [13, 24, 71].

The vascular system of young adult men is likewise in a phase of maximal functional activity. Arteries maintain high elasticity, ensuring effective dampening of the pulse wave and regulation of peripheral resistance [72, 73]. Capillary density is maximal, providing optimal oxygen and substrate delivery [32, 33]. The venous system demonstrates efficient venous return with minimal signs of venous stasis even during prolonged muscular work [23, 62].

Cardiovascular regulation at this age is maintained by a balanced interaction between sympathetic and parasympathetic divisions. High resting HRV reflects substantial adaptive reserves, while adequate visceral responses to load confirm the effectiveness of rapid regulatory mechanisms [62, 74]. Central hemodynamic regulation is also well coordinated: the hypothalamic–pituitary–adrenal axis maintains homeostasis efficiently under stress and physical exertion.

Endothelial function remains highly sensitive to vasoactive stimuli. Synthesis of nitric oxide and other vasodilators meets physiological demands, supporting efficient tissue perfusion and preventing endothelial dysfunction [37, 75]. Anti-atherogenic properties of the endothelium remain strong, limiting early vascular pathology. BP stability is characteristic of this age group in the absence of risk factors, while vascular tone is effectively supported by neurohumoral mechanisms with high sensitivity to exercise [15, 76]. Rapid post-exercise recovery of homeostatic parameters reflects robust stress-response and adaptation systems.

The hormonal profile of men in early and mid-adulthood plays a crucial role in maintaining optimal cardiovascular function. Testosterone, growth hormone, and IGF-1 enhance myocardial contractility, cardiomyocyte metabolism, and vascular regulation [77, 78]. This hormonal milieu supports healthy anabolic processes in skeletal muscle and myocardium and prevents early dystrophic changes [35, 79].

The physiological optimum of this age allows the use of intensive training regimes with minimal cardiovascular risk, provided principles of progression, safety, and individualisation are followed [80, 81]. This period enables the greatest training effect, as morphological and functional adaptations are expressed rapidly and fully. Nevertheless, within both adolescent and early adult

groups, interindividual differences in hemodynamic reactivity persist, influenced not only by training status but also by age-specific features of cardiovascular functional maturity [18, 19, 24, 82].

In men of early adulthood, the hemodynamic response to physical exercise—particularly anaerobic or mixed modalities—is often accompanied by a more pronounced increase in HR and BP due to predominant sympathetic activation [5, 23, 25].

This is associated with the incomplete maturation of autonomic regulatory mechanisms, relatively lower vascular elasticity, and reduced stroke efficiency of the heart [15, 75, 83–85]. With advancing age, these responses become better balanced due to improved baroreceptor control, stabilised cardiac rhythm, increased stroke volume, and reduced dependence of cardiac output on HR [86, 87].

Aerobic exercise in men of early adulthood induces smaller BP fluctuations and a more economical HR response compared with younger individuals [9, 88, 89]. In resistance or interval exercise, significant differences are observed in vasoconstrictor responses and recovery dynamics: in individuals under 20 years, these processes are less stable, and the return to baseline may be delayed [5, 15, 24, 62].

In the context of aging, the circulatory system undergoes a complex set of morphofunctional changes that define a hemodynamic profile dominated by compensatory rather than adaptive mechanisms [90, 91].

Older age in men is characterised by the onset and progression of cardiovascular pathologies, further exacerbated by the diminished cardioprotective influence of testosterone [91, 92]. Within the central circulatory component, progressive reductions in myocardial elasticity, decreased  $\beta$ -adrenergic receptor density, and weakened inotropic responses are observed [93, 94]. Left ventricular contractility declines both at rest and—more markedly—during physical exertion, limiting increases in SV and CO. Although ejection fraction may remain within a relatively normal range through compensatory redistribution, reduced diastolic compliance and impaired early diastolic filling are typical features of the aging heart [94, 95].

Resting HR in older men is generally lower compared to younger groups, yet the adaptive HR rise during exercise is slower and less pronounced [86, 95]. This is attributed to attenuated sympathoadrenal responsiveness, reduced baroreceptor sensitivity, and diminished HRV reserves [96, 97]. Consequently, the cardiovascular system's ability to respond rapidly to changing conditions is limited, predisposing older men to orthostatic hypotension, tachycardia, or ischemia.

Additionally, myocardial energetic potential declines with age due to impaired mitochondrial metabolism, oxidative stress, and reduced activity of electron transport chain enzymes [98]. Combined with degenerative alterations in the cardiac conduction system, this increases the risk of arrhythmias, lowers exercise tolerance, and heightens the probability of heart failure even under moderate loads. Age-related myocardial changes—such as fibrosis and fatty infiltration—further reduce contractile performance and pumping capacity [99]. The accumulation of atherosclerotic plaques in the coronary arteries may lead to the development of ischemic heart disease, compromising myocardial trophism and impairing its physiological function [90, 100].

At the peripheral level, substantial age-related alterations occur within the vascular wall. An increase in collagen content, a reduction in elastic fibres, and calcification of the intima and media lead to a progressive rise in arterial stiffness [100, 101]. Consequently, systolic BP increases, producing the isolated systolic hypertension typical of advanced age. Peripheral vascular resistance also tends to rise, further complicating the heart's pumping function. Elevated thrombotic risk—resulting from age-related changes in coagulation homeostasis—is an additional contributor to the development of arterial hypertension [101]. Endothelial dysfunction, characteristic of older men, manifests as reduced NO production, impaired vasodilatory capacity, and increased activity of pro-inflammatory cytokines [101, 102]. These changes play a central role in the development of atherosclerotic lesions, endothelial injury, and microcirculatory impairment, especially in the presence of metabolic comorbidities (type 2 diabetes, dyslipidaemia, etc.) [102, 103].

Thus, the hemodynamic profile of older men is energetically costly, low-reserve, and multifactorially compromised, necessitating caution in prescribing physical exercise and requiring continuous monitoring of cardiovascular function. In older men, physical activity remains a key determinant of cardiovascular functional capacity.

However, aging affects not only baseline hemodynamic parameters but also the nature of both acute and chronic responses to exercise. After moderate-intensity cyclic exercise (walking, light running, swimming), older men exhibit moderate increases in HR and CO, yet the rise in SV is substantially smaller compared with younger individuals [104]. This is caused by reduced diastolic function and diminished venous return due to decreased venous wall tone. PVR does not always adequately decrease, limiting vasodilatory mechanisms. Post-exercise hemodynamic recovery is slowed, reflecting reduced autonomic plasticity and delayed parasympathetic reactivation [88, 104].

In the long term, regular aerobic training contributes to reductions in pulse pressure, improved endothelial sensitivity to NO, enhanced microcirculation, and partial normalisation of HRV; however, structural vascular changes remain limited because of fibrotic–calcific arterial transformation [105].

Resistance exercise in older men induces marked increases in systolic and diastolic BP, driven by sympathoadrenal activation and peripheral vasoconstriction [105, 106]. Acute elevations in PVR combined with reduced arterial elasticity create conditions for excessive pressure loading on the left ventricle [106, 107]. In some individuals, transient myocardial ischemia or arrhythmias may occur, particularly with improper breathing or underlying subclinical atherosclerosis. With long-term, appropriately dosed resistance training, improvements in venous return, increased muscle capillarisation, and stabilisation of afterload are possible; nonetheless, hemodynamic adaptation requires extended time and strict individualisation.

During interval or circuit-based mixed training, older men demonstrate unstable hemodynamic patterns, characterised by rapid HR increase, inconsistent vascular responses, and insufficient SV augmentation [108]. Autonomic regulation loses its rapid adaptive capacity, impairing effective switching between sympathetic and parasympathetic dominance. With adaptation, improvements in parasympathetic reactivity, better autonomic balance, and more stable exercise HR may occur, but only with careful monitoring of BP, pulse, and HR recovery.

Functional exercises (e.g., TRX, unstable-surface tasks) require high multisystem coordination, activation of deep stabiliser muscles, and dynamic redistribution of blood flow [108, 109]. In older men, such activity elicits significant fluctuations in HR, BP, and HRV, reflecting increased reliance on sympathetic reserves. During recovery, hypotensive responses or orthostatic instability are common due to impaired venous tone and delayed parasympathetic reactivation [109]. Adaptively, functional training may improve postural hemodynamic control, enhance afferent sensitivity, normalise venous return, and potentially reduce the need for antihypertensive correction, though benefits depend on intensity, duration, and training experience.

Thus, in older men, the reactive hemodynamic response to physical exercise is characterised by limited reserves, delayed regulatory adjustment, and potential hyperreactivity of the pressure component.

Adaptive changes operate within a narrow physiological window, necessitating a high level of individualisation. Aerobic and functional exercise modalities offer the most favourable profile when progressed gradually, whereas anaerobic and mixed modes require increased caution.

**Conclusion.** Age-related morphofunctional characteristics of the heart, vascular system, and autonomic regulation determine the hemodynamic responses to various types of physical exercise (aerobic, anaerobic, mixed, and functional). In adolescence, sympathetic reactivity predominates, providing high adaptability yet contributing to unstable BP regulation. In mature men, responses are balanced, with optimal adaptive reserves. Older age is defined by reduced HRV, diminished SV, arterial stiffness, and decreased efficiency of neurohumoral responses.

The synthesis of available data indicates a clear need for age-specific individualisation of training programmes in men, accounting for hemodynamic reactivity, cardiovascular risk, and

physical fitness level. Further research should refine effective and safe exercise strategies to maintain cardiovascular health across the male lifespan.

**Perspectives for future research.** Future studies should clarify the underlying mechanisms of age-related differences in reactive and adaptive cardiovascular responses to different exercise types, particularly focusing on endothelial function markers, HRV metrics, and arterial stiffness. Investigating the roles of neurohumoral regulation and baroreceptor sensitivity in modulating acute and chronic hemodynamic changes across age groups is especially promising.

### References

1. Pastukhova V, Goncharenko I, Buka G, Ilyin V, Skorobohatov A, Tytarenko V. Effect of Physical Activity on Changes in Mitochondrial Pool of Muscle Fibers. *Sports science and health*. 2024;14(1):23–7. DOI: <http://dx.doi.org/10.7251/SSH2401023P>.
2. Lyzohub V, Kozhemiako T, Khomenko S, Pustovalov V, Shpaniuk V. Structural and functional reorganization of the heart and its relationship with physical activities in elite football players. *Health Problems of Civilization*. 2022;16(2):147–55. DOI: 10.5114/hpc.2022.116587.
3. Гуніна ЛМ, Беленічев ІФ, Розова КВ, Атаман ЮО, Войтенко ВЛ, Безугла ВВ. Енергозабезпечення серця та скелетних м'язів за фізичних навантажень: мітохондріальний вектор. *Фізіологічний журнал*. 2022;68(5):67–78. DOI: 10.15407/fz68.05.067.
4. Martinez M, Kim J, Shah A. Exercise-Induced Cardiovascular Adaptations and Approach to Exercise and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review. *JACC*. 2021;78(14):1453–70.
5. Бакуновський ОМ, Лук'янцева ГВ, Малюга СС, Котляренко ЛТ. Зміни центральної гемодинаміки у період раннього відновлення після різних режимів фізичного навантаження. *Фізіол журн*. 2021;67(6):13-20.
6. Chen H, Chen C, Spanos M, Li G, Lu R, Bei Y, Xiao J. Exercise training maintains cardiovascular health: signaling pathways involved and potential therapeutics. *Signal Transduct Target Ther*. 2022;7(1):306. doi: 10.1038/s41392-022-01153-1.
7. Iellamo F. Acute responses and chronic adaptations to exercise in humans: a look from the autonomic nervous system window. *J Sports Med Phys Fitness*. 2024 Feb;64(2):137-150. doi: 10.23736/S0022-4707.23.15353-9.
8. Omole JG, Okon IA, Udom GJ, Aziakpono OM, Agbana RD, Aturamu A et al. Neurophysiological mechanisms underlying cardiovascular adaptations to exercise: A narrative review. *Physiol Rep*. 2025;13(13):e70439. doi: 10.14814/phy2.70439.
9. Grotle AK, Langlo JV, Holsbrekken E, Stone AJ, Tanaka H, Fadel PJ. Age-related alterations in the cardiovascular responses to acute exercise in males and females: role of the exercise pressor reflex. *Front Physiol*. 2023;2(14):1287392. doi: 10.3389/fphys.2023.1287392.
10. Subramanian V, Tucker WJ, Peters AE, Upadhyay B, Kitzman DW, Pandey A. Cardiovascular Aging and Exercise: Implications for Heart Failure Prevention and Management. *Circ Res*. 2025;137(2):205-30. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.125.325531.
11. Tanaka H, Dinverno FA, Monahan KD, Clevenger CM, DeSouza CA, Seals DR. Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation*. 2000 Sep 12;102(11):1270-5. doi: 10.1161/01.cir.102.11.1270.
12. Uchino BN, Birmingham W, Berg CA. Are older adults less or more physiologically reactive? A meta-analysis of age-related differences in cardiovascular reactivity to laboratory tasks. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*. 2010;65B(2):154-62. doi: 10.1093/geronb/gbp127.
13. Patel H, Alkhwam H, Madanieh R, Shah N, Kosmas CE, Vittorio TJ. Aerobic vs anaerobic exercise training effects on the cardiovascular system. *World J Cardiol*. 2017;9(2):134-138. doi: 10.4330/wjc.v9.i2.134.
14. Hughes DC, Ellefsen S, Baar K. Adaptations to Endurance and Strength Training. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2018 Jun 1;8(6):a029769. doi: 10.1101/cshperspect.a029769.
15. Lukyantseva HV, Bakunovsky OM, Malyuga SS, Oliynyk TM, Manchenko NR, Manchenko YR, Korolyova DO. Comparative characteristics of changes in central hemodynamics during early recovery after different exercise regimes. *Reports of Morphology*. 2021;27(2):47-52. DOI: 10.31393/morphology-journal-2021-27(2)-07.
16. Joyner MJ, Casey DP. Regulation of increased blood flow (hyperemia) to muscles during exercise: a hierarchy of competing physiological needs. *Physiol Rev*. 2015;95(2):549-601. doi: 10.1152/physrev.00035.2013.
17. Dulaney CS, Heidorn CE, Singer TJ, McDaniel J. Mechanisms that underlie blood flow regulation at rest and during exercise. *Adv Physiol Educ*. 2023 Mar 1;47(1):26-36. doi: 10.1152/advan.00180.2022.
18. Hart EC, Joyner MJ, Wallin BG, Johnson CP, Curry TB, Eisenach JH, Charkoudian N. Age-related differences in the sympathetic-hemodynamic balance in men. *Hypertension*. 2009;54(1):127-33.
19. Murray KO, Mahoney SA, Venkatasubramanian R, Seals DR, Clayton ZS. Aging, aerobic exercise, and cardiovascular health: Barriers, alternative strategies and future directions. *Exp Gerontol*. 2023 Mar;173:112105. doi: 10.1016/j.exger.2023.112105.
20. Tysevykh TV. Features of the functioning of the cardiovascular system of students in the junior courses of the institution of higher medical education depending on the level of physical health. *Reports of Vinnytsia National Medical University*. 2024;28(2):210-20. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2024-28\(2\)-05](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2024-28(2)-05).

21. Schierbauer J, Hoffmeister T, Treff G, Wachsmuth NB, Schmidt WFJ. Effect of Exercise-Induced Reductions in Blood Volume on Cardiac Output and Oxygen Transport Capacity. *Front Physiol.* 2021;12:679232. doi: 10.3389/fphys.2021.679232.
22. Ashcroft SP, Stocks B, Egan B, Zierath JR. Exercise induces tissue-specific adaptations to enhance cardiometabolic health. *Cell Metab.* 2024;36(2):278-300. doi: 10.1016/j.cmet.2023.12.008.
23. Лук'янцева ГВ, Бакуновський ОМ, Пастухова В.А., Дроздовська С. Б., Бабак С. В., Ільїн ВМ, Малюга СС. Вплив стато-динамічних вправ на параметри серцево-судинної системи при заняттях силовим фітнесом. *Вісник Черкаського університету.* 2024;2:59-68. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-2-59-68.
24. Лук'янцева ГВ, Бакуновський ОМ, Малюга СС, Олійник ТМ. Зміни роботи серця і центральної гемодинаміки у періоді раннього відновлення після статичного фізичного навантаження. *Вісник проблем біології і медицини.* 2022;4(167):353–60. DOI:10.29254/2077-4214-2022-4-167-353-360.
25. Малюга СС, Лук'янцева ГВ, Бакуновський ОМ. Особливості змін роботи серця і центральної гемодинаміки у період раннього відновлення після стато-динамічного фізичного навантаження. *Вісник проблем біології і медицини.* 2022;3(166):482–91. DOI: 10.29254/2077-4214-2022-3-166-482-491.
26. Sanchis-Gomar F, Perez MV, Perez-Quilis C, Lippi G, Lavie CJ, Haddad F et al. The Acquisition of Cardiovascular Adaptation to Aerobic Exercise: When Does It Begin and How Does It Evolve Depending on Intrinsic and Extrinsic Factors? *Can J Cardiol.* 2025 Mar;41(3):386-397. doi: 10.1016/j.cjca.2024.12.023.
27. Tucker WJ, Fegers-Wustrow I, Halle M, Haykowsky MJ, Chung EH, Kovacic JC. Exercise for Primary and Secondary Prevention of Cardiovascular Disease: JACC Focus Seminar 1/4. *J Am Coll Cardiol.* 2022 Sep 13;80(11):1091-1106. doi: 10.1016/j.jacc.2022.07.004.
28. Koller A, Laughlin MH, Cenko E, de Wit C, Tóth K, Bugiardini R et al. Functional and structural adaptations of the coronary macro- and microvasculature to regular aerobic exercise by activation of physiological, cellular, and molecular mechanisms: ESC Working Group on Coronary Pathophysiology and Microcirculation position paper. *Cardiovasc Res.* 2022 Jan 29;118(2):357-371. doi: 10.1093/cvr/cvab246.
29. Gerber Y, Gabriel KP, Jacobs DR Jr, Liu JY, Rana JS, Sternfeld B et al. The relationship of cardiorespiratory fitness, physical activity, and coronary artery calcification to cardiovascular disease events in CARDIA participants. *Eur J Prev Cardiol.* 2025 Jan 6;32(1):52-62. doi: 10.1093/eurjpc/zwae272.
30. Huang Z, Li X, Liu X, Xu Y, Feng H, Ren L. Exercise blood pressure, cardiorespiratory fitness, fatness and cardiovascular risk in children and adolescents. *Front Public Health.* 2024;12:1298612. doi: 10.3389/fpubh.2024.1298612.
31. Song Y, Sheykhlouvand M. A Comparative Analysis of High-Intensity Technique-Specific Intervals and Short Sprint Interval Training in Taekwondo Athletes: Effects on Cardiorespiratory Fitness and Anaerobic Power. *J Sports Sci Med.* 2024 Sep 1;23(1):672-683. doi: 10.52082/jssm.2024.672.;
32. Goeder D, Kröpfl JM, Angst T, Hanssen H, Hauser C, Infanger D et al. VascuFit: Aerobic exercise improves endothelial function independent of cardiovascular risk: A randomized-controlled trial. *Atherosclerosis.* 2024;399:118631. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2024.118631.
33. Isath A, Koziol KJ, Martinez MW, Garber CE, Martinez MN, Emery MS et al. Exercise and cardiovascular health: A state-of-the-art review. *Prog Cardiovasc Dis.* 2023 Jul-Aug;79:44-52. doi: 10.1016/j.pcad.2023.04.008.
34. Heinonen I. Cardiac output limits maximal oxygen consumption, but what limits maximal cardiac output? *Exp Physiol.* 2025 May;110(5):666-674. doi: 10.1113/EP091594.
35. Zhang Y, Chai S, Dai H, Chen X, Meng Z, Ying X. Vascular endothelial function and its response to moderate-intensity aerobic exercise in trained and untrained healthy young men. *Sci Rep.* 2024;14(1):20450.
36. Grandys M, Majerczak J, Frolow M. Training-induced impairment of endothelial function in track and field female athletes. *Sci Rep* 13, 2023;3502. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30165-2>.
37. Königstein K, Dipla K, Zafeiridis A. Training the Vessels: Molecular and Clinical Effects of Exercise on Vascular Health—A Narrative Review. *Cells.* 2023;12(21):2544. <https://doi.org/10.3390/cells12212544>.
38. Cotie LM, Marçal IR, Way KL, Lee LS, Patterson M, Pearson M et al. Sex Differences in Cardiovascular Adaptations Following Aerobic Exercise Training Programs: A Systematic Review and Meta-analysis. *Can J Cardiol.* 2025 Mar;41(3):337-353. doi: 10.1016/j.cjca.2024.12.005.
39. Afaghi S, Rahimi FS, Soltani P, Kiani A, Abedini A. Sex-Specific Differences in Cardiovascular Adaptations and Risks in Elite Athletes: Bridging the Gap in Sports Cardiology. *Clin Cardiol.* 2024;47(9):e70006.
40. Лук'янцева ГВ. Фізіологія людини (навч посібник для самостійної роботи студентів з індивідуальним графіком навчання та заочної форми навчання). 2-ге вид., без змін. - Київ : Нац. ун-т фіз. виховання і спорту України : Олімпійська література, 2017. 181 с.
41. Schumann M, Feuerbacher JF, Sünkel M, Freitag N, Rønnestad BR, Doma K, Lundberg TR. Compatibility of Concurrent Aerobic and Strength Training for Skeletal Muscle Size and Function: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2022 Mar;52(3):601-612. doi: 10.1007/s40279-021-01587-7.
42. Wilson JM, Marin PJ, Rhea MR, Wilson SM, Loenneke JP, Anderson JC. Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *J Strength Cond Res.* 2012;26(8):2293-307.
43. Xiao, W., Bu, T., Zhang, J. et al. Effects of functional training on physical and technical performance among the athletic population: a systematic review and narrative synthesis. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2025;17(2):102-24.

44. Wang X, Soh KG, Deng N, Zhang D, Cao S. Effects of functional training on muscle strength, jumping, and functional movement screen in wushu athletes. *Heliyon*. 2024;10(2):e24087. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e24087.
45. Wang, X., Soh, K.G., Zhang, L. et al. Effects of high-intensity functional training on physical fitness in healthy individuals: a systematic review with meta-analysis. *BMC Public Health*. 2025;25:528-35.
46. Yılmaz O, Soylu Y, Erkmén N, Kaplan T, Batalik L. Effects of proprioceptive training on sports performance: a systematic review. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2024;16(1):149. doi: 10.1186/s13102-024-00936-z.
47. Ostchega Y, Porter KS, Hughes J, Dillon CF, Nwankwo T. Resting pulse rate reference data for children, adolescents, and adults: United States, 1999-2008. *Natl Health Stat Report*. 2011;(41):1-16.
48. Turcanu S, Gusetu G, Ciobanu DM, Istratoaie S, Rosu R, Alexandru MI, Muresan L, Lazea C, Pop D, Zdrengha D, Cismaru G, Barsu C, Negru AG, Cismaru A, Cainap SS. Body size influences heart rate in children aged 6 to 18 years old. *Medicine (Baltimore)*. 2023;102(3):e32602. doi: 10.1097/MD.00000000000032602.
49. de Simone G, Devereux RB, Daniels SR, Mureddu G, Roman MJ, Kimball TR, Greco R, Witt S, Contaldo F. Stroke volume and cardiac output in normotensive children and adults. Assessment of relations with body size and impact of overweight. *Circulation*. 1997 Apr 1;95(7):1837-43. doi: 10.1161/01.cir.95.7.1837.
50. Wyller VB, Barbieri R, Saul JP. Blood pressure variability and closed-loop baroreflex assessment in adolescent chronic fatigue syndrome during supine rest and orthostatic stress. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111(3):497-507.
51. Paniccia M, Verweel L, Thomas S, Taha T, Keightley M, Wilson KE, Reed N. Heart Rate Variability in Healthy Non-Concussed Youth Athletes: Exploring the Effect of Age, Sex, and Concussion-Like Symptoms. *Front Neurol*. 2018 Jan 18;8:753. doi: 10.3389/fneur.2017.00753.
52. Helánová, K., Šišáková, M., Hnatkova, K. et al. Development of autonomic heart rate modulations during childhood and adolescence. *Eur J Physiol*. 2024;476:1187–207. <https://doi.org/10.1007/s00424-024-02979-0>.
53. Bourdon JL, Moore AA, Eastman M, Savage JE, Hazlett L, Vrana SR, Hettema JM, Roberson-Nay R. Resting Heart Rate Variability (HRV) in Adolescents and Young Adults from a Genetically-Informed Perspective. *Behav Genet*. 2018 Sep;48(5):386-396. doi: 10.1007/s10519-018-9915-1.
54. Cyr AR, Huckaby LV, Shiva SS, Zuckerbraun BS. Nitric Oxide and Endothelial Dysfunction. *Crit Care Clin*. 2020 Apr;36(2):307-321. doi: 10.1016/j.ccc.2019.12.009.
55. Micieta V, Cehakova M, Tonhajzerova I. Endothelial Dysfunction in Adolescent Hypertension: Diagnostic Challenges and Early Cardiovascular Risk. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2025;12(9):326. doi: 10.3390/jcdd12090326.
56. Franco M, Khorrami Chokami K, Albertelli M, Teti C, Cocchiara F, Gatto F, Trombetta C, Ferone D, Boschetti M. Modulatory activity of testosterone on growth pattern and IGF-1 levels in vanishing testis syndrome: a case report during 15 years of follow-up. *BMC Endocr Disord*. 2023;23(1):13. doi: 10.1186/s12902-022-01258-2.
57. Wójcik M, Starzyk JB, Drożdż M, Drożdż D. Effects of Puberty on Blood Pressure Trajectories - Underlying Processes. *Curr Hypertens Rep*. 2023;25(7):117-125. doi: 10.1007/s11906-023-01241-9.
58. Nottin S, Vinet A, Stecken F, N'Guyen LD, Ounissi F, Lecoq AM, Obert P. Central and peripheral cardiovascular adaptations to exercise in endurance-trained children. *Acta Physiol Scand*. 2002;175(2):85-92.
59. Dupuy A, Birat A. Post-exercise heart rate recovery and parasympathetic reactivation are comparable between prepubertal boys and well-trained adult male endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2022;122:345–55.
60. Chirico D, Liu J, Klentrou P, Shoemaker JK, O'Leary DD. The Effects of Sex and Pubertal Maturation on Cardiovascular Baroreflex Sensitivity. *J Pediatr*. 2015 Nov;167(5):1067-73. doi: 10.1016/j.jpeds.2015.07.054.
61. Norris R, Carroll D, Cochrane R. The effects of aerobic and anaerobic training on fitness, blood pressure, and psychological stress and well-being. *J Psychosom Res*. 1990;34(4):367-75. doi: 10.1016/0022-3999(90)90060-h.
62. Malyuga SS, Lukyantseva HV, Bakunovsky O. O. Features of functional changes in blood vessels during the period of early recovery after static physical exercise. *Reports of Morphology*. 2022;28(4):48–53. DOI: 10.31393/morphology-journal-2022-28(4)-07.
63. Eddolls WTB, McNarry MA, Stratton G, Winn CON, Mackintosh KA. High-Intensity Interval Training Interventions in Children and Adolescents. *Sports Med*. 2017;47(11):2363-2374. doi: 10.1007/s40279-017-0753-8.
64. Ketelhut S, Ketelhut K, Ketelhut S, Ketelhut R. Effects of School-Based High-Intensity Interval Training on Hemodynamic Parameters and Heart Rate Variability: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2024;38(6):1033-40. DOI: 10.1519/JSC.0000000000004744
65. Urabe J, Ono K, Okagawa J, Nakayama Y, Yamau R, Ishikawa A. Effect of high-intensity interval exercise on renal artery hemodynamics in healthy young adults. *J Sports Med Phys Fitness*. 2023;63(1):129-35.
66. Grässler B, Thielmann B, Böckelmann I, Hökelmann A. Effects of Different Training Interventions on Heart Rate Variability and Cardiovascular Health and Risk Factors in Young and Middle-Aged Adults: A Systematic Review. *Front Physiol*. 2021 Apr 23;12:657274. doi: 10.3389/fphys.2021.657274.
67. Tabatabai SM, Jalilian P. The Effect of Six Weeks of TRX Training on Selected Physical Fitness Components in High School Students in Mashhad. *J Sport Biomech*. 2025;11(1):34-45.
68. Kawel-Boehm N, Hetzel SJ, Ambale-Venkatesh B. Reference ranges (“normal values”) for cardiovascular magnetic resonance (CMR) in adults and children: 2020 update. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2020;22:87-95. <https://doi.org/10.1186/s12968-020-00683-3>.

69. Snel GJH, van den Boomen M, Hurtado-Ortiz K, Slart RHJ, van Deursen VM, Nguyen CT et al. Cardiac Alterations on 3T MRI in Young Adults With Sedentary Lifestyle-Related Risk Factors. *Front Cardiovasc Med*. 2022;9:840790. doi: 10.3389/fcvm.2022.840790.
70. Pandey A, Allen NB, Ayers C, Reis JP, Moreira HT, Sidney S et al. Fitness in Young Adulthood and Long-Term Cardiac Structure and Function: The CARDIA Study. *JACC Heart Fail*. 2017;5(5):347-355. doi: 10.1016/j.jchf.2016.11.014.
71. Carlsson M, Andersson R, Bloch KM, Steding-Ehrenborg K, Mosén H, Stahlberg et al. Cardiac output and cardiac index measured with cardiovascular magnetic resonance in healthy subjects, elite athletes and patients with congestive heart failure. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2012;14(1):51. doi: 10.1186/1532-429X-14-51.
72. Fernberg U, Fernström M, Hurtig-Wennlöf A. Higher Total Physical Activity is Associated with Lower Arterial Stiffness in Swedish, Young Adults: The Cross-Sectional Lifestyle, Biomarkers, and Atherosclerosis Study. *Vasc Health Risk Manag*. 2021;17:175-185. doi: 10.2147/VHRM.S283211.
73. Lear R, Metcalf B, Brailey G, Nunns M, Bond B, Hillsdon M, Pulsford R. Associations of habitual physical activity and carotid-femoral pulse wave velocity; a systematic review and meta-analysis of observational studies. *PLoS One*. 2023;18(4):e0284164. doi: 10.1371/journal.pone.0284164.
74. Alessio HM, Ballard KD, Reidy PT, Hayward KM, Bagg AM, Cooley RA et al. Short term e-bicycle riding results in favorable cardiometabolic shifts in moderately active adults. *Eur J Appl Physiol*. 2024;124(7):1969-1977. doi: 10.1007/s00421-024-05418-1.
75. Корман ІІІ.-АС, Лук'янцева Г.В. Вікові зміни макро-і мікроциркуляції крові під впливом дозованого фізичного навантаження залежно від ступеня тренуваності організму. *Вісник Черкаського університету, серія Біологія*. 2024;1:63-71. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-63-71.
76. Barden AE, Shinde S, Beilin LJ, Phillips M, Adler B, Mori TA. 20-HETE, Blood Pressure, and Vascular Stiffness in Young Adults. *Hypertension*. 2024;81(12):2549-2558. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.124.23634.
77. Diaconu R, Donoiu I, Mirea O, Bălșeanu TA. Testosterone, cardiomyopathies, and heart failure: a narrative review. *Asian J Androl*. 2021;23(4):348-356. doi: 10.4103/aja.aja\_80\_20.
78. Macvanin M, Gluvic Z, Radovanovic J, Essack M, Gao X, Isenovic ER. New insights on the cardiovascular effects of IGF-1. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2023 Feb 9;14:1142644. doi: 10.3389/fendo.2023.1142644.
79. Lodovico ED, Facondo P, Delbarba A, Pezzaioli LC, Maffezzoni F, Cappelli C et al. Testosterone, Hypogonadism, and Heart Failure. *Circ Heart Fail*. 2022;15(7):e008755.
80. Okon IA, Beshel JA, Okorochoa AE, Eze EE, Owu DU. Blood pressure and ECG variables of healthy young males and females participating in moderate aerobic exercise. *J Bodyw Mov Ther*. 2024;40:965-970.
81. Mi MY, Perry AS, Krishnan V, Naylor M. Epidemiology and Cardiovascular Benefits of Physical Activity and Exercise. *Circ Res*. 2025;137(2):120-138. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.125.325526.
82. Корман ІІІ.-А., Лук'янцева Г.В. Ультроструктурні механізми адаптації кисеньтранспортної системи до м'язової роботи. *Вісник проблем біології та медицини*. 2025;2(176):177-185. DOI 10.29254/2077-4214-2025-2-177-185.;
83. Su R, Peng P, Zhang W, Huang J, Fan J, Zhang D et al. Dose-effect of exercise intervention on heart rate variability of acclimatized young male lowlanders at 3,680 m. *Front Physiol*. 2024;15:1331693. doi: 10.3389/fphys.2024.1331693.
84. Ishii K, Izaki T, Asahara R, Komine H. Carotid sinus baroafferent signals contribute to cerebral blood flow regulation during acute hypotension in young males: A randomized crossover study. *Physiol Rep*. 2024;12(3):e15937. doi: 10.14814/phy2.15937.
85. Watanabe DK, Hong S, Williams DP, Kohn J, Koenig J, Reyes Del Paso GA, Thayer JF. Age and sex differences in blood pressure regulation: A focus on the vascular baroreflex limb. *Physiol Rep*. 2025;13(12):e70413. doi: 10.14814/phy2.70413126.
86. Babcock MC, DuBose LE, Hildreth KL, Stauffer BL, Cornwell WK, Kohrt WM, Moreau KL. Age-associated reductions in cardiovagal baroreflex sensitivity are exaggerated in middle-aged and older men with low testosterone. *J Appl Physiol*. 2022 Aug 1;133(2):403-415. doi: 10.1152/jappphysiol.00245.2022.
87. Nakamura K, Fujiwara T, Hoshida S, Ishiyama Y, Taki M, Ozawa S et al. Differences in exercise-induced blood pressure changes between young trained and untrained individuals. *J Clin Hypertens (Greenwich)*. 2021;23(4):843-8. doi: 10.1111/jch.14177.
88. Zubac D, Goswami N, Ivančev V. Independent influence of age on heart rate recovery after flywheel exercise in trained men and women. *Sci Rep*. 2021;11:120-21. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91565-w>.
89. Haferancke J, Baumgartner L, Willinger L, Oberhoffer-Fritz R, Schulz T. Molecular Mechanisms of Vascular Tone in Exercising Pediatric Populations: A Comprehensive Overview on Endothelial, Antioxidative, Metabolic and Lipoprotein Signaling Molecules. *Int J Mol Sci*. 2025;26(3):1027. doi: 10.3390/ijms26031027.
90. Singam NSV, Fine C, Fleg JL. Cardiac changes associated with vascular aging. *Clin Cardiol*. 2020 Feb;43(2):92-98. doi: 10.1002/clc.23313.
91. Triposkiadis F, Xanthopoulos A, Butler J. Cardiovascular Aging and Heart Failure: JACC Review Topic of the Week. *J Am Coll Cardiol*. 2019 Aug 13;74(6):804-813. doi: 10.1016/j.jacc.2019.06.053.
92. Kaur H, Werstuck GH. The Effect of Testosterone on Cardiovascular Disease and Cardiovascular Risk Factors in Men: A Review of Clinical and Preclinical Data. *CJC Open*. 2021;3(10):1238-48.



93. Ferrara N, Komici K, Corbi G, Pagano G, Furgi G, Rengo C, Femminella GD, Leosco D, Bonaduce D.  $\beta$ -adrenergic receptor responsiveness in aging heart and clinical implications. *Front Physiol*. 2014;4:396.
94. Dong M, Yang Z, Fang H, Xiang J, Xu C, Zhou Y, Wu Q, Liu J. Aging Attenuates Cardiac Contractility and Affects Therapeutic Consequences for Myocardial Infarction. *Aging Dis*. 2020;11(2):365-76.
95. Calvo-López M, Ortega-Paz L, Jimenez-Trinidad FR, Brugaletta S, Sabaté M, Dantas AP. Sex-associated differences in cardiac ageing: Clinical aspects and molecular mechanisms. *Eur J Clin Invest*. 2024;54(7):e14215.
96. Monahan KD. Effect of aging on baroreflex function in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2007 Jul;293(1):R3-R12. doi: 10.1152/ajpregu.00031.2007.
97. Felber Dietrich D, Schindler C, Schwartz J, Barthélémy JC, Tschopp JM, Roche F et al. Heart rate variability in an ageing population and its association with lifestyle and cardiovascular risk factors: results of the SAPALDIA study. *Europace*. 2006 Jul;8(7):521-9. doi: 10.1093/europace/eul063.
98. Vakka A, Warren JS, Drosatos K. Cardiovascular aging: from cellular and molecular changes to therapeutic interventions. *J Cardiovasc Aging*. 2023;3(3):23. doi: 10.20517/jca.2023.09
99. Ji H, Kwan AC, Chen MT, Ouyang D, Ebinger JE, Bell SP et al. Sex Differences in Myocardial and Vascular Aging. *Circ Res*. 2022 Feb 18;130(4):566-577. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.121.319902.
100. Laurent S, Boutouyrie P. Arterial Stiffness and Hypertension in the Elderly. *Front Cardiovasc Med*. 2020 Oct 29;7:544302. doi: 10.3389/fcvm.2020.544302.
101. Delluc A, Lacut K, Rodger MA. Arterial and venous thrombosis: What's the link? A narrative review. *Thromb Res*. 2020 Jul;191:97-102. doi: 10.1016/j.thromres.2020.04.035.
102. Higashi Y, Kihara Y, Noma K. Endothelial dysfunction and hypertension in aging. *Hypertens Res*. 2012;35: 1039–47 (2012). <https://doi.org/10.1038/hr.2012.138>.
103. Majerczak J, Grandys M, Frołow M, Szkutnik Z, Zakrzewska A, Niżankowski R, Duda K, Chlopicki S, Zoladz JA. Age-Dependent Impairment in Endothelial Function and Arterial Stiffness in Former High Class Male Athletes Is No Different to That in Men With No History of Physical Training. *J Am Heart Assoc*. 2019;8(18):e012670.
104. Jakovljevic DG. Physical activity and cardiovascular aging: Physiological and molecular insights. *Exp Gerontol*. 2018 Aug;109:67-74. doi: 10.1016/j.exger.2017.05.016.
105. DeSouza CA, Shapiro LF, Clevenger CM, Dinunno FA, Monahan KD, Tanaka H, Seals DR. Regular aerobic exercise prevents and restores age-related declines in endothelium-dependent vasodilation in healthy men. *Circulation*. 2000 Sep 19;102(12):1351-7. doi: 10.1161/01.cir.102.12.1351.
106. Benavides-Roca LA, Parra G, Zamunér AR. Acute Blood Pressure Changes Following Resistance Exercise in Adults with Hypertension. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2025 Sep 12;10(3):349. doi: 10.3390/jfmk10030349.
107. Jurik, R., Stastny, P., Kolinger, D. et al. Blood pressure changes during different methods of resistance training in normotensive and stage 1 hypertensive individuals: a repeated measures cross-sectional study. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2025;17:49-55). <https://doi.org/10.1186/s13102-025-01097-3>.
108. Sant'Ana LO, Machado S, Ribeiro AAS, Dos Reis NR, Campos YAC, da Silva JGV, Scartoni FR, Brown AF, Monteiro ER, Novaes JDS, Vianna JM, Budde H. Effects of Cardiovascular Interval Training in Healthy Elderly Subjects: A Systematic Review. *Front Physiol*. 2020 Jul 31;11:739. doi: 10.3389/fphys.2020.00739.
109. Gaedtke A, Morat T. TRX Suspension Training: A New Functional Training Approach for Older Adults - Development, Training Control and Feasibility. *Int J Exerc Sci*. 2015 Jul 1;8(3):224-233. doi: 10.70252/SWSX2936.

#### References

1. Pastukhova V., Goncharenko I., Buka G., Ilyin V., Skorobohatov A., Tytarenko V. (2024) Effect of Physical Activity on Changes in Mitochondrial Pool of Muscle Fibers. *Sports science and health*. Vol. 14, № 1. P. 23–27. DOI: <http://dx.doi.org/10.7251/SSH2401023P>.
2. Lyzohub V., Kozhemiako T., Khomenko S., Pustovalov V., Shpaniuk V. (2022). Structural and functional reorganization of the heart and its relationship with physical activities in elite football players. *Health Problems of Civilization*. Vol. 16, № 2. P. 147–155. DOI: 10.5114/hpc.2022.116587.
3. Гуніна Л. М., Беленічев І. Ф., Розова К. В., Атаман Ю. О., Войтенко В. Л., Безугла В. В. (2022). Енергозабезпечення серця та скелетних м'язів за фізичних навантажень: мітохондріальний вектор. *Фізіол. журнал*. Т. 68, № 5. С. 67–78. DOI: 10.15407/fz68.05.067.
4. Martinez M., Kim J., Shah A. (2021). Exercise-Induced Cardiovascular Adaptations and Approach to Exercise and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review. *JACC*. Vol. 78, № 14. P. 1453–1470.
5. Bakunovskiy O. M., Luk'iantseva H. V., Maliuha S. S., Kotliarenko L. T. (2021). Zminy tsentralnoi hemodynamiky u period rann'oho vidnovlennia pislia riznykh rezhymiv fizychnoho navantazhennia. *Fiziol. Zhurn*. Vol. 67, № 6. P. 13 - 20.
6. Chen H, Chen C, Spanos M, Li G, Lu R, Bei Y, Xiao J. (2022). Exercise training maintains cardiovascular health: signaling pathways involved and potential therapeutics. *Signal Transduct Target Ther*. Vol. 7, № 1. P. 306-12. doi: 10.1038/s41392-022-01153-1.
7. Iellamo F. (2024). Acute responses and chronic adaptations to exercise in humans: a look from the autonomic nervous system window. *J Sports Med Phys Fitness*. Vol. 64, № 2. P. 137-150. doi: 10.23736/S0022-4707.23.15353-9.

8. Omole J. G., Okon I. A., Udom G. J., Aziakpono O. M., Agbana R. D., Aturamu A. et al. (2025). Neurophysiological mechanisms underlying cardiovascular adaptations to exercise: A narrative review. *Physiol Rep.* Vol. 13, № 13. e70439. doi: 10.14814/phy2.70439.
9. Grotle A. K., Langlo J. V., Holsbrekken E., Stone A. J., Tanaka H., Fadel P. J. (2023). Age-related alterations in the cardiovascular responses to acute exercise in males and females: role of the exercise pressor reflex. *Front Physiol.* Vol. 2, № 14. 1287392. doi: 10.3389/fphys.2023.1287392.
10. Subramanian V., Tucker W. J., Peters A. E., Upadhy B., Kitzman D. W., Pandey A. (2025). Cardiovascular Aging and Exercise: Implications for Heart Failure Prevention and Management. *Circ Res.* Vol. 137, № 2. P. 205-230. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.125.325531.
11. Tanaka H., Dinunno F. A., Monahan K. D., Clevenger C. M., DeSouza C. A., Seals D. R. (2000). Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation.* Vol. 102, № 11. P. 1270-1275. doi: 10.1161/01.cir.102.11.1270.
12. Uchino B. N., Birmingham W., Berg C. A. (2010). Are older adults less or more physiologically reactive? A meta-analysis of age-related differences in cardiovascular reactivity to laboratory tasks. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci.* Vol. 65, № 2. P. 154-162. doi: 10.1093/geronb/gbp127.
13. Patel H., Alkhawam H., Madanieh R., Shah N., Kosmas C. E., Vittorio T. J. (2017). Aerobic vs anaerobic exercise training effects on the cardiovascular system. *World J Cardiol.* Vol. 9, № 2. P. 134-138. doi: 10.4330/wjc.v9.i2.134.
14. Hughes D. C., Ellefsen S., Baar K. (2018). Adaptations to Endurance and Strength Training. *Cold Spring Harb Perspect Med.* Vol. 8, № 6. a029769. doi: 10.1101/cshperspect.a029769.
15. Lukyantseva H. V., Bakunovsky O. M., Malyuga S. S., Oliynyk T. M., Manchenko N. R., Manchenko Y. R. et al. (2021). Comparative characteristics of changes in central hemodynamics during early recovery after different exercise regimes. *Reports of Morphology.* Vol. 27, № 2. P. 47-52. DOI: 10.31393/morphology-journal-2021-27(2)-07.
16. Joyner M. J., Casey D. P. (2015). Regulation of increased blood flow (hyperemia) to muscles during exercise: a hierarchy of competing physiological needs. *Physiol Rev.* Vol. 95, № 2. P. 549-601. doi: 10.1152/physrev.00035.2013.
17. Dulaney C. S., Heidorn C. E., Singer T. J., McDaniel J. (2023). Mechanisms that underlie blood flow regulation at rest and during exercise. *Adv Physiol Educ.* Vol. 47, № 1. P. 26-36. doi: 10.1152/advan.00180.2022.
18. Hart E. C., Joyner M. J., Wallin B. G., Johnson C. P., Curry T. B., Eisenach JH, Charkoudian N. (2009). Age-related differences in the sympathetic-hemodynamic balance in men. *Hypertension.* Vol. 54, № 1. P. 127-133.
19. Murray K. O., Mahoney S. A., Venkatasubramanian R., Seals D. R., Clayton Z. S. (2023). Aging, aerobic exercise, and cardiovascular health: Barriers, alternative strategies and future directions. *Exp Gerontol.* Vol. 173, 112105. doi: 10.1016/j.exger.2023.112105.
20. Tysevych T. V. (2024). Features of the functioning of the cardiovascular system of students in the junior courses of the institution of higher medical education depending on the level of physical health. *Reports of Vinnytsia National Medical University*, 28(2), 210-220. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2024-28\(2\)-05](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2024-28(2)-05).
21. Schierbauer J., Hoffmeister T., Treff G., Wachsmuth N. B., Schmidt W. F. J. (2021). Effect of Exercise-Induced Reductions in Blood Volume on Cardiac Output and Oxygen Transport Capacity. *Front Physiol.* Vol. 12, 679232. doi: 10.3389/fphys.2021.679232.
22. Ashcroft S. P., Stocks B., Egan B., Zierath J. R. (2024). Exercise induces tissue-specific adaptations to enhance cardiometabolic health. *Cell Metab.* Vol. 36, № 2. P. 278-300. doi: 10.1016/j.cmet.2023.12.008.
23. Лук'янцева Г. В., Бакуновський ОМ, Пастухова В.А., Дроздовська С. Б., Бабак С. В., Ільїн ВМ, Малюга СС. Вплив статико-динамічних вправ на параметри серцево-судинної системи при заняттях силовим фітнесом. *Вісник Черкаського університету, серія Біологічні науки.* 2024;2:59-68. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-2-59-68.
24. Лук'янцева ГВ, Бакуновський ОМ, Малюга СС, Олійник ТМ. Зміни роботи серця і центральної гемодинаміки у періоді раннього відновлення після статичного фізичного навантаження. *Вісник проблем біології і медицини.* 2022;4(167):353–60. DOI:10.29254/2077-4214-2022-4-167-353-360.
25. Малюга СС, Лук'янцева ГВ, Бакуновський ОМ. Особливості змін роботи серця і центральної гемодинаміки у період раннього відновлення після статико-динамічного фізичного навантаження. *Вісник проблем біології і медицини.* 2022;3(166):482–91. DOI: 10.29254/2077-4214-2022-3-166-482-491
26. Sanchis-Gomar F, Perez MV, Perez-Quilis C, Lippi G, Lavie CJ, Haddad F et al. The Acquisition of Cardiovascular Adaptation to Aerobic Exercise: When Does It Begin and How Does It Evolve Depending on Intrinsic and Extrinsic Factors? *Can J Cardiol.* 2025 Mar;41(3):386-397. doi: 10.1016/j.cjca.2024.12.023.
27. Tucker WJ, Fegers-Wustrow I, Halle M, Haykowsky MJ, Chung EH, Kovacic JC. Exercise for Primary and Secondary Prevention of Cardiovascular Disease: JACC Focus Seminar 1/4. *J Am Coll Cardiol.* 2022 Sep 13;80(11):1091-1106. doi: 10.1016/j.jacc.2022.07.004.
28. Koller A, Laughlin MH, Cenko E, de Wit C, Tóth K, Bugiardini R et al. Functional and structural adaptations of the coronary macro- and microvasculature to regular aerobic exercise by activation of physiological, cellular, and

- molecular mechanisms: ESC Working Group on Coronary Pathophysiology and Microcirculation position paper. *Cardiovasc Res.* 2022 Jan 29;118(2):357-371. doi: 10.1093/cvr/cvab246.
29. Gerber Y, Gabriel KP, Jacobs DR Jr, Liu JY, Rana JS, Sternfeld B et al. The relationship of cardiorespiratory fitness, physical activity, and coronary artery calcification to cardiovascular disease events in CARDIA participants. *Eur J Prev Cardiol.* 2025 Jan 6;32(1):52-62. doi: 10.1093/eurjpc/zwae272.
  30. Huang Z, Li X, Liu X, Xu Y, Feng H, Ren L. Exercise blood pressure, cardiorespiratory fitness, fatness and cardiovascular risk in children and adolescents. *Front Public Health.* 2024;12:1298612. doi: 10.3389/fpubh.2024.1298612.
  31. Song Y, Sheykhlovand M. A Comparative Analysis of High-Intensity Technique-Specific Intervals and Short Sprint Interval Training in Taekwondo Athletes: Effects on Cardiorespiratory Fitness and Anaerobic Power. *J Sports Sci Med.* 2024 Sep 1;23(1):672-683. doi: 10.52082/jssm.2024.672.;
  32. Goeder D, Kröpfl JM, Angst T, Hanssen H, Hauser C, Infanger D et al. VascuFit: Aerobic exercise improves endothelial function independent of cardiovascular risk: A randomized-controlled trial. *Atherosclerosis.* 2024;399:118631. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2024.118631.
  33. Isath A, Koziol KJ, Martinez MW, Garber CE, Martinez MN, Emery MS et al. Exercise and cardiovascular health: A state-of-the-art review. *Prog Cardiovasc Dis.* 2023 Jul-Aug;79:44-52. doi: 10.1016/j.pcad.2023.04.008.
  34. Heinonen I. Cardiac output limits maximal oxygen consumption, but what limits maximal cardiac output? *Exp Physiol.* 2025 May;110(5):666-674. doi: 10.1113/EP091594.
  35. Zhang Y, Chai S, Dai H, Chen X, Meng Z, Ying X. Vascular endothelial function and its response to moderate-intensity aerobic exercise in trained and untrained healthy young men. *Sci Rep.* 2024;14(1):20450.
  36. Grandys M, Majerczak J, Frolow M. Training-induced impairment of endothelial function in track and field female athletes. *Sci Rep* 13, 2023;3502. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30165-2>.
  37. Königstein K, Dipla K, Zafeiridis A. Training the Vessels: Molecular and Clinical Effects of Exercise on Vascular Health—A Narrative Review. *Cells.* 2023;12(21):2544. <https://doi.org/10.3390/cells12212544>.
  38. Cotie LM, Marçal IR, Way KL, Lee LS, Patterson M, Pearson M et al. Sex Differences in Cardiovascular Adaptations Following Aerobic Exercise Training Programs: A Systematic Review and Meta-analysis. *Can J Cardiol.* 2025 Mar;41(3):337-353. doi: 10.1016/j.cjca.2024.12.005.
  39. Afaghi S, Rahimi FS, Soltani P, Kiani A, Abedini A. Sex-Specific Differences in Cardiovascular Adaptations and Risks in Elite Athletes: Bridging the Gap in Sports Cardiology. *Clin Cardiol.* 2024;47(9):e70006.
  40. Лук'янцева ГВ. Фізіологія людини (навч посібник для самостійної роботи студентів з індивідуальним графіком навчання та заочної форми навчання). 2-ге вид., без змін. - Київ : Нац. ун-т фіз. виховання і спорту України : Олімпійська література, 2017. 181 с.
  41. Schumann M, Feuerbacher JF, Sunkeler M, Freitag N, Rønnestad BR, Doma K, Lundberg TR. Compatibility of Concurrent Aerobic and Strength Training for Skeletal Muscle Size and Function: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2022 Mar;52(3):601-612. doi: 10.1007/s40279-021-01587-7.
  42. Wilson JM, Marin PJ, Rhea MR, Wilson SM, Loenneke JP, Anderson JC. Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *J Strength Cond Res.* 2012;26(8):2293-307.
  43. Xiao, W., Bu, T., Zhang, J. et al. Effects of functional training on physical and technical performance among the athletic population: a systematic review and narrative synthesis. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2025;17(2):102-24.
  44. Wang X, Soh KG, Deng N, Zhang D, Cao S. Effects of functional training on muscle strength, jumping, and functional movement screen in wushu athletes. *Heliyon.* 2024;10(2):e24087. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e24087.
  45. Wang, X., Soh, K.G., Zhang, L. et al. Effects of high-intensity functional training on physical fitness in healthy individuals: a systematic review with meta-analysis. *BMC Public Health.* 2025;25:528-35.
  46. Yılmaz O, Soylu Y, Erkmén N, Kaplan T, Batalik L. Effects of proprioceptive training on sports performance: a systematic review. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2024;16(1):149. doi: 10.1186/s13102-024-00936-z.
  47. Ostchega Y, Porter KS, Hughes J, Dillon CF, Nwankwo T. Resting pulse rate reference data for children, adolescents, and adults: United States, 1999-2008. *Natl Health Stat Report.* 2011;(41):1-16.
  48. Turcanu S, Gusetu G, Ciobanu DM, Istratoaie S, Rosu R, Alexandru MI, Muresan L, Lazea C, Pop D, Zdrenghia D, Cismaru G, Barsu C, Negru AG, Cismaru A, Cainap SS. Body size influences heart rate in children aged 6 to 18 years old. *Medicine (Baltimore).* 2023;102(3):e32602. doi: 10.1097/MD.00000000000032602.
  49. de Simone G, Devereux RB, Daniels SR, Mureddu G, Roman MJ, Kimball TR, Greco R, Witt S, Contaldo F. Stroke volume and cardiac output in normotensive children and adults. Assessment of relations with body size and impact of overweight. *Circulation.* 1997 Apr 1;95(7):1837-43. doi: 10.1161/01.cir.95.7.1837.
  50. Wyller VB, Barbieri R, Saul JP. Blood pressure variability and closed-loop baroreflex assessment in adolescent chronic fatigue syndrome during supine rest and orthostatic stress. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(3):497-507.
  51. Paniccia M, Verweel L, Thomas S, Taha T, Keightley M, Wilson KE, Reed N. Heart Rate Variability in Healthy Non-Concussed Youth Athletes: Exploring the Effect of Age, Sex, and Concussion-Like Symptoms. *Front Neurol.* 2018 Jan 18;8:753. doi: 10.3389/fneur.2017.00753.
  52. Helánová, K., Šišáková, M., Hnatkova, K. et al. Development of autonomic heart rate modulations during childhood and adolescence. *Eur J Physiol.* 2024;476:1187–207. <https://doi.org/10.1007/s00424-024-02979-0>.

53. Bourdon JL, Moore AA, Eastman M, Savage JE, Hazlett L, Vrana SR, Hettema JM, Roberson-Nay R. Resting Heart Rate Variability (HRV) in Adolescents and Young Adults from a Genetically-Informed Perspective. *Behav Genet.* 2018 Sep;48(5):386-396. doi: 10.1007/s10519-018-9915-1.
54. Cyr AR, Huckaby LV, Shiva SS, Zuckerbraun BS. Nitric Oxide and Endothelial Dysfunction. *Crit Care Clin.* 2020 Apr;36(2):307-321. doi: 10.1016/j.ccc.2019.12.009.
55. Micieta V, Cehakova M, Tonhajzerova I. Endothelial Dysfunction in Adolescent Hypertension: Diagnostic Challenges and Early Cardiovascular Risk. *J Cardiovasc Dev Dis.* 2025;12(9):326. doi: 10.3390/jcdd12090326.
56. Franco M, Khorrami Chokami K, Albertelli M, Teti C, Cocchiara F, Gatto F, Trombetta C, Ferone D, Boschetti M. Modulatory activity of testosterone on growth pattern and IGF-1 levels in vanishing testis syndrome: a case report during 15 years of follow-up. *BMC Endocr Disord.* 2023;23(1):13. doi: 10.1186/s12902-022-01258-2.
57. Wójcik M, Starzyk JB, Drożdż M, Drożdż D. Effects of Puberty on Blood Pressure Trajectories - Underlying Processes. *Curr Hypertens Rep.* 2023;25(7):117-125. doi: 10.1007/s11906-023-01241-9.
58. Nottin S, Vinet A, Stecken F, N'Guyen LD, Ounissi F, Lecoq AM, Obert P. Central and peripheral cardiovascular adaptations to exercise in endurance-trained children. *Acta Physiol Scand.* 2002;175(2):85-92.
59. Dupuy A, Birat A. Post-exercise heart rate recovery and parasympathetic reactivation are comparable between prepubertal boys and well-trained adult male endurance athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2022;122:345-55.
60. Chirico D, Liu J, Klentrou P, Shoemaker JK, O'Leary DD. The Effects of Sex and Pubertal Maturation on Cardiovascular Baroreflex Sensitivity. *J Pediatr.* 2015 Nov;167(5):1067-73. doi: 10.1016/j.jpeds.2015.07.054.
61. Norris R, Carroll D, Cochrane R. The effects of aerobic and anaerobic training on fitness, blood pressure, and psychological stress and well-being. *J Psychosom Res.* 1990;34(4):367-75. doi: 10.1016/0022-3999(90)90060-h.
62. Malyuga SS, Lukyantseva HV, Bakunovsky O. O. Features of functional changes in blood vessels during the period of early recovery after static physical exercise. *Reports of Morphology.* 2022;28(4):48-53. DOI: 10.31393/morphology-journal-2022-28(4)-07.
63. Eddolls WTB, McNarry MA, Stratton G, Winn CON, Mackintosh KA. High-Intensity Interval Training Interventions in Children and Adolescents. *Sports Med.* 2017;47(11):2363-2374. doi: 10.1007/s40279-017-0753-8.
64. Ketelhut S, Ketelhut K, Ketelhut S, Ketelhut R. Effects of School-Based High-Intensity Interval Training on Hemodynamic Parameters and Heart Rate Variability: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2024;38(6):1033-40. DOI: 10.1519/JSC.0000000000004744
65. Urabe J, Ono K, Okagawa J, Nakayama Y, Yamau R, Ishikawa A. Effect of high-intensity interval exercise on renal artery hemodynamics in healthy young adults. *J Sports Med Phys Fitness.* 2023;63(1):129-35.
66. Grässler B, Thielmann B, Böckelmann I, Hökelmann A. Effects of Different Training Interventions on Heart Rate Variability and Cardiovascular Health and Risk Factors in Young and Middle-Aged Adults: A Systematic Review. *Front Physiol.* 2021 Apr 23;12:657274. doi: 10.3389/fphys.2021.657274.
67. Tabatabai SM, Jalilian P. The Effect of Six Weeks of TRX Training on Selected Physical Fitness Components in High School Students in Mashhad. *J Sport Biomech.* 2025;11(1):34-45.
68. Kawel-Boehm N, Hetzel SJ, Ambale-Venkatesh B. Reference ranges ("normal values") for cardiovascular magnetic resonance (CMR) in adults and children: 2020 update. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2020;22:87-95. <https://doi.org/10.1186/s12968-020-00683-3>.
69. Snel GJH, van den Boomen M, Hurtado-Ortiz K, Slart RHJ, van Deursen VM, Nguyen CT et al. Cardiac Alterations on 3T MRI in Young Adults With Sedentary Lifestyle-Related Risk Factors. *Front Cardiovasc Med.* 2022;9:840790. doi: 10.3389/fcvm.2022.840790.
70. Pandey A, Allen NB, Ayers C, Reis JP, Moreira HT, Sidney S et al. Fitness in Young Adulthood and Long-Term Cardiac Structure and Function: The CARDIA Study. *JACC Heart Fail.* 2017;5(5):347-355. doi: 10.1016/j.jchf.2016.11.014.
71. Carlsson M, Andersson R, Bloch KM, Steding-Ehrenborg K, Mosén H, Stahlberg et al. Cardiac output and cardiac index measured with cardiovascular magnetic resonance in healthy subjects, elite athletes and patients with congestive heart failure. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2012;14(1):51. doi: 10.1186/1532-429X-14-51.
72. Fernberg U, Fernström M, Hurtig-Wennlöf A. Higher Total Physical Activity is Associated with Lower Arterial Stiffness in Swedish, Young Adults: The Cross-Sectional Lifestyle, Biomarkers, and Atherosclerosis Study. *Vasc Health Risk Manag.* 2021;17:175-185. doi: 10.2147/VHRM.S283211.
73. Lear R, Metcalf B, Brailey G, Nunns M, Bond B, Hillsdon M, Pulsford R. Associations of habitual physical activity and carotid-femoral pulse wave velocity; a systematic review and meta-analysis of observational studies. *PLoS One.* 2023;18(4):e0284164. doi: 10.1371/journal.pone.0284164.
74. Alessio HM, Ballard KD, Reidy PT, Hayward KM, Bagg AM, Cooley RA et al. Short term e-bicycle riding results in favorable cardiometabolic shifts in moderately active adults. *Eur J Appl Physiol.* 2024;124(7):1969-1977. doi: 10.1007/s00421-024-05418-1.
75. Корман ІІІ-АС, Лук'янцева Г В. Вікові зміни макро-і мікроциркуляції крові під впливом дозованого фізичного навантаження залежно від ступеня тренуваності організму. *Вісник Черкаського університету, серія Біологія.* 2024;1:63-71. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-63-71.
76. Barden AE, Shinde S, Beilin LJ, Phillips M, Adler B, Mori TA. 20-HETE, Blood Pressure, and Vascular Stiffness in Young Adults. *Hypertension.* 2024;81(12):2549-2558. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.124.23634.

77. Diaconu R, Donoiu I, Mirea O, Bălșeanu TA. Testosterone, cardiomyopathies, and heart failure: a narrative review. *Asian J Androl*. 2021;23(4):348-356. doi: 10.4103/aja.aja\_80\_20.
78. Macvanin M, Gluvic Z, Radovanovic J, Essack M, Gao X, Isenovic ER. New insights on the cardiovascular effects of IGF-1. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2023 Feb 9;14:1142644. doi: 10.3389/fendo.2023.1142644.
79. Lodovico ED, Facondo P, Delbarba A, Pezzaioli LC, Maffezzoni F, Cappelli C et al. Testosterone, Hypogonadism, and Heart Failure. *Circ Heart Fail*. 2022;15(7):e008755.
80. Okon IA, Beshel JA, Okorocha AE, Eze EE, Owu DU. Blood pressure and ECG variables of healthy young males and females participating in moderate aerobic exercise. *J Bodyw Mov Ther*. 2024;40:965-970.
81. Mi MY, Perry AS, Krishnan V, Naylor M. Epidemiology and Cardiovascular Benefits of Physical Activity and Exercise. *Circ Res*. 2025;137(2):120-138. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.125.325526.
82. Корман III.-А., Лук'янцева Г.В. Ультраструктурні механізми адаптації кисеньтранспортної системи до м'язової роботи. *Вісник проблем біології та медицини*. 2025;2(176):177-185. DOI 10.29254/2077-4214-2025-2-177-185.;
83. Su R, Peng P, Zhang W, Huang J, Fan J, Zhang D et al. Dose-effect of exercise intervention on heart rate variability of acclimatized young male lowlanders at 3,680 m. *Front Physiol*. 2024;15:1331693. doi: 10.3389/fphys.2024.1331693.
84. Ishii K, Izaki T, Asahara R, Komine H. Carotid sinus baroafferent signals contribute to cerebral blood flow regulation during acute hypotension in young males: A randomized crossover study. *Physiol Rep*. 2024;12(3):e15937. doi: 10.14814/phy2.15937.
85. Watanabe DK, Hong S, Williams DP, Kohn J, Koenig J, Reyes Del Paso GA, Thayer JF. Age and sex differences in blood pressure regulation: A focus on the vascular baroreflex limb. *Physiol Rep*. 2025;13(12):e70413. doi: 10.14814/phy2.70413126.
86. Babcock MC, DuBose LE, Hildreth KL, Stauffer BL, Cornwell WK, Kohrt WM, Moreau KL. Age-associated reductions in cardiovagal baroreflex sensitivity are exaggerated in middle-aged and older men with low testosterone. *J Appl Physiol*. 2022 Aug 1;133(2):403-415. doi: 10.1152/jappphysiol.00245.2022.
87. Nakamura K, Fujiwara T, Hoshida S, Ishiyama Y, Taki M, Ozawa S et al. Differences in exercise-induced blood pressure changes between young trained and untrained individuals. *J Clin Hypertens (Greenwich)*. 2021;23(4):843-8. doi: 10.1111/jch.14177.
88. Zubac D, Goswami N, Ivančev V. Independent influence of age on heart rate recovery after flywheel exercise in trained men and women. *Sci Rep*. 2021;11:120-21. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91565-w>.
89. Haferancke J, Baumgartner L, Willinger L, Oberhoffer-Fritz R, Schulz T. Molecular Mechanisms of Vascular Tone in Exercising Pediatric Populations: A Comprehensive Overview on Endothelial, Antioxidative, Metabolic and Lipoprotein Signaling Molecules. *Int J Mol Sci*. 2025;26(3):1027. doi: 10.3390/ijms26031027.
90. Singam NSV, Fine C, Fleg JL. Cardiac changes associated with vascular aging. *Clin Cardiol*. 2020 Feb;43(2):92-98. doi: 10.1002/clc.23313.
91. Triposkiadis F, Xanthopoulos A, Butler J. Cardiovascular Aging and Heart Failure: JACC Review Topic of the Week. *J Am Coll Cardiol*. 2019 Aug 13;74(6):804-813. doi: 10.1016/j.jacc.2019.06.053.
92. Kaur H, Werstuck GH. The Effect of Testosterone on Cardiovascular Disease and Cardiovascular Risk Factors in Men: A Review of Clinical and Preclinical Data. *CJC Open*. 2021;3(10):1238-48.
93. Ferrara N, Komici K, Corbi G, Pagano G, Furgi G, Rengo C, Femminella GD, Leosco D, Bonaduce D.  $\beta$ -adrenergic receptor responsiveness in aging heart and clinical implications. *Front Physiol*. 2014;4:396.
94. Dong M, Yang Z, Fang H, Xiang J, Xu C, Zhou Y, Wu Q, Liu J. Aging Attenuates Cardiac Contractility and Affects Therapeutic Consequences for Myocardial Infarction. *Aging Dis*. 2020;11(2):365-76.
95. Calvo-López M, Ortega-Paz L, Jimenez-Trinidad FR, Brugaletta S, Sabaté M, Dantas AP. Sex-associated differences in cardiac ageing: Clinical aspects and molecular mechanisms. *Eur J Clin Invest*. 2024;54(7):e14215.
96. Monahan KD. Effect of aging on baroreflex function in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2007 Jul;293(1):R3-R12. doi: 10.1152/ajpregu.00031.2007.
97. Felber Dietrich D, Schindler C, Schwartz J, Barthélémy JC, Tschopp JM, Roche F et al. Heart rate variability in an ageing population and its association with lifestyle and cardiovascular risk factors: results of the SAPALDIA study. *Europace*. 2006 Jul;8(7):521-9. doi: 10.1093/europace/eul063.
98. Vakka A, Warren JS, Drosatos K. Cardiovascular aging: from cellular and molecular changes to therapeutic interventions. *J Cardiovasc Aging*. 2023;3(3):23. doi: 10.20517/jca.2023.09
99. Ji H, Kwan AC, Chen MT, Ouyang D, Ebinger JE, Bell SP et al. Sex Differences in Myocardial and Vascular Aging. *Circ Res*. 2022 Feb 18;130(4):566-577. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.121.319902.
100. Laurent S, Boutouyrie P. Arterial Stiffness and Hypertension in the Elderly. *Front Cardiovasc Med*. 2020 Oct 29;7:544302. doi: 10.3389/fcvm.2020.544302.
101. Delluc A, Lacut K, Rodger MA. Arterial and venous thrombosis: What's the link? A narrative review. *Thromb Res*. 2020 Jul;191:97-102. doi: 10.1016/j.thromres.2020.04.035.
102. Higashi Y, Kihara Y, Noma K. Endothelial dysfunction and hypertension in aging. *Hypertens Res*. 2012;35: 1039–47 (2012). <https://doi.org/10.1038/hr.2012.138>.

103. Majerczak J, Grandys M, Frołow M, Szkutnik Z, Zakrzewska A, Nizankowski R, Duda K, Chlopicki S, Zoladz JA. Age-Dependent Impairment in Endothelial Function and Arterial Stiffness in Former High Class Male Athletes Is No Different to That in Men With No History of Physical Training. *J Am Heart Assoc.* 2019;8(18):e012670.
104. Jakovljevic DG. Physical activity and cardiovascular aging: Physiological and molecular insights. *Exp Gerontol.* 2018 Aug;109:67-74. doi: 10.1016/j.exger.2017.05.016.
105. DeSouza CA, Shapiro LF, Clevenger CM, Dinunno FA, Monahan KD, Tanaka H, Seals DR. Regular aerobic exercise prevents and restores age-related declines in endothelium-dependent vasodilation in healthy men. *Circulation.* 2000 Sep 19;102(12):1351-7. doi: 10.1161/01.cir.102.12.1351.
106. Benavides-Roca LA, Parra G, Zamunér AR. Acute Blood Pressure Changes Following Resistance Exercise in Adults with Hypertension. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2025 Sep 12;10(3):349. doi: 10.3390/jfmk10030349.
107. Jurik, R., Stastny, P., Kolinger, D. et al. Blood pressure changes during different methods of resistance training in normotensive and stage 1 hypertensive individuals: a repeated measures cross-sectional study. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2025;17:49-55). <https://doi.org/10.1186/s13102-025-01097-3>.
108. Sant'Ana LO, Machado S, Ribeiro AAS, Dos Reis NR, Campos YAC, da Silva JGV, Scartoni FR, Brown AF, Monteiro ER, Novaes JDS, Vianna JM, Budde H. Effects of Cardiovascular Interval Training in Healthy Elderly Subjects: A Systematic Review. *Front Physiol.* 2020 Jul 31;11:739. doi: 10.3389/fphys.2020.00739.
109. Gaedtke A, Morat T. TRX Suspension Training: A New Functional Training Approach for Older Adults - Development, Training Control and Feasibility. *Int J Exerc Sci.* 2015 Jul 1;8(3):224-233. doi: 10.70252/SWSX2936.
110. Carrick-Ranson G, Howden EJ, Brazile TL, Levine BD, Reading SA. Effects of aging and endurance exercise training on cardiorespiratory fitness and cardiac structure and function in healthy midlife and older women. *J Appl Physiol* (1985). 2023 Dec 1;135(6):1215-1235. doi: 10.1152/japphysiol.00798.2022.

**Сойніков Я. І., Лук'янцева Г. В.**

## **РЕАКТИВНІ ТА АДАПТИВНІ ЗМІНИ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ЧОЛОВІКІВ У ВІДПОВІДЬ НА РІЗНІ ВИДИ ФІЗИЧНИХ ВПРАВ: ФІЗІОЛОГІЧНИЙ ТА ТРЕНУВАЛЬНИЙ КОНТЕКСТ**

**Постановка проблеми.** Гемодинамічні зміни, викликані фізичними вправами, є ключовим механізмом підтримки гомеостазу під час м'язової активності. Однак реактивні та адаптивні серцево-судинні реакції суттєво варіюються залежно від віку, статусу тренування та характеру фізичного навантаження. Існуючі дані, що описують, як аеробні, анаеробні, змішані та функціональні методи тренувань впливають на центральну гемодинаміку, вегетативну регуляцію та структурно-функціональні характеристики серця в різні вікові періоди, залишаються недостатньо систематизованими. Це обмежує розробку індивідуалізованих тренувальних програм, заснованих на віково-специфічних фізіологічних закономірностях.

**Мета.** Визначити вікові особливості реактивних та адаптивних змін серцево-судинної системи чоловіків у відповідь на фізичні вправи різної метаболічної спрямованості та охарактеризувати механізми, що лежать в основі гемодинамічних реакцій та адаптацій, викликаних тренуванням.

**Методи.** Було проведено систематичний аналіз сучасної наукової літератури з використанням баз даних PubMed, Scopus, Web of Science та Google Scholar. Спочатку було перевірено понад 700 джерел з використанням ключових слів, пов'язаних з віковими гемодинамічними реакціями на різні типи фізичних вправ. Після багатоетапної оцінки релевантності та повнотекстової оцінки, до остаточного синтезу було включено 109 публікацій.

**Основні результати.** Підлітковий вік характеризується переважною симпатичною реактивністю та нестабільністю барорефлексного контролю. Чоловіки в ранньому дорослому віці демонструють найвищий ступінь морфофункціональної зрілості серця та судин, демонструючи ефективну адаптацію до тренувань та оптимальний вегетативний баланс. Старший вік пов'язаний зі зниженням ударного об'єму, підвищенням жорсткості артерій та затримкою парасимпатичної реактивації. Модальність фізичних вправ значно формує профіль реакції: аеробні вправи посилюють перфузію тканин, анаеробні тренування викликають пікові пресорні реакції, змішані вправи викликають чергування симпатичних та

вазодилататорних фаз, тоді як функціональні тренування покращують міжм'язову координацію та постуральну регуляцію кровообігу.

**Наукова новизна.** Систематизовано вікові моделі серцево-судинної реактивності та адаптації. Обґрунтовано ранній дорослий вік як фізіологічно оптимальний період для досягнення максимального тренувального ефекту. Виявлено внутрішньокolleктивні відмінності в гемодинамічній чутливості в підлітковій та дорослій групах та пов'язано їх зі ступенем серцево-судинної та вегетативної зрілості.

**Висновки та рекомендації.** Вікові фізіологічні характеристики вимагають індивідуалізації тренувальних стратегій: підлітки потребують поступового збільшення навантаження з акцентом на стабілізацію вегетативної регуляції; дорослі чоловіки отримують найбільшу користь від комбінованих та функціональних тренувальних методів; старші люди повинні надавати пріоритет аеробним та низькоінтенсивним вправам з ретельним моніторингом гемодинамічних параметрів.

**Ключові слова:** система кровообігу, серце, кровоносні судини, гемодинаміка, фізичні вправи, реактивність, адаптація, чоловіки.

Надійшла до редакції / Received: 18.10.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.12.2025

УДК 582.594.2:581.9(477.46)

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-2-88-97

**Василь Леонівич Шевчик**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ННЦ «Інститут біології та медицини»

[shewol@ukr.net](mailto:shewol@ukr.net)

<https://orcid.org/0000-0001-5981-3776>

**Оксана Анатоліївна Спрягайло**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[biona@ukr.net](mailto:biona@ukr.net)

<https://orcid.org/0000-0003-0065-5229>

**Олександр Васильович Спрягайло**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[dendro@ukr.net](mailto:dendro@ukr.net)

<https://orcid.org/0000-0002-9431-9746>

**Катерина Валеріївна Лавріненко**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[lavrinenkokaterina97@gmail.com](mailto:lavrinenkokaterina97@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-0549-5754>

**Роман Володимирович Лисенко**

Інститут зоології імені І. І. Шмальгаузену НАН України

[lysenko.r@izan.kiev.ua](mailto:lysenko.r@izan.kiev.ua)

<https://orcid.org/0000-0002-8754-7708>

## НОВІ ЗНАХІДКИ ЛІСОВИХ ОРХІДЕЙ НА ТЕРИТОРІЇ ПРОЄКТОВАНОГО НПП «ІРДИНСЬКЕ БОЛОТО»

*Подано результати рекогносціювальних флористико-геоботанічних досліджень, у результаті яких виявлено нові локалітети рідкісних лісових видів: *Cephalanthera damasonium*, *C. longifolia*, *Epipactis helleborine*, *Neottia nidus-avis*, *Platanthera bifolia*, *P. chlorantha* на території проєктованого НПП «Ірдинське болото». Визначено ценотичні характеристики їх місцезростань, приурочених до дубово-грабово-ясенових і схилово-яружних лісів. Установлено, що у формуванні природної структури угруповань, до складу яких входять види *Orchidaceae*, провідну роль відіграють гідрологічні та едафічні характеристики схилових фітоценозів..*

**Ключові слова:** *Orchidaceae*, нові локалітети, раритетні види, фітоценози, ценотичні умови, Черкаська область.

**Постановка проблеми.** Усі представники родини Зозулинцеві (*Orchidaceae*) флори України занесені до Червоної книги України [1]. Їхній охоронний статус зумовлений специфікою біології, складністю репродуктивних процесів та особливостями синекологічних взаємин у фітоценозах. Зозулинцеві характеризуються високою чутливістю до змін середовища, що робить їх ефективними індикаторами стану екосистем. Дослідження засвідчують важливість окремих видів цієї родини як ефективних індикаторів абіотичних умов середовища їх існування [2]. Також доведено залежність функціонування популяцій та потенціалу поширення деяких лісових орхідей від присутності у фітоценозах певних деревних видів з відповідною ектотрофною мікоризою [3, 4].

У Черкаській області за всю історію флористичних досліджень зафіксовано 22 види *Orchidaceae*, серед яких три види боліт, дев'ять – луків і десять – лісових екосистем [5]. У лісах регіону представники зозулинцевих зазвичай трапляються спорадично та вкрай рідко; їхні популяції найчастіше малочисельні або й узагалі представлені поодинокими особинами [6].



У цьому контексті виявлення нових місцезростань, а також підтвердження та характеристика стану вже відомих популяцій мають особливу актуальність у світлі збереження біорізноманіття. Такі дослідження є важливою складовою моніторингу стану довкілля, сприяють оцінці екологічної цінності природних оселищ і створюють наукові передумови для подальшої організації ефективної охорони локальних популяцій зозулинцевих у регіоні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Родина Зозулинцеві, що налічує близько 28,5 тис. видів [7], є однією з найрізноманітніших та найпоширеніших родин квіткових рослин. Водночас вона належить до груп організмів із надзвичайно високим рівнем загрози зникнення [8], частково через складні стратегії життєвого циклу [9], але здебільшого через втрату середовищ існування, зміну умов навколишнього середовища, зокрема клімату, методи землекористування, збір як лікарської сировини чи для декоративного садівництва. Більшість видів зозулинцевих особливо вразливі до змін середовища існування через їхню сильну екологічну спеціалізацію [10]. Життєвий цикл орхідей тісно залежить від взаємодії з іншими організмами, зокрема грибами-мікоризоутворювачами та запилювачами, тому їх визнають важливими індикаторами стану екосистем [9].

Такий стан зумовлює підвищений інтерес до видів цієї родини в усьому світі та Україні зокрема. Узагальнені відомості про хорологічні та фітоценотичні особливості *Orchidaceae* відображені у ряді праць вітчизняних дослідників, зокрема в опублікованих протягом останнього десятиліття роботах, присвячених поширенню, ценотичній приуроченості та біотопічній диференціації зозулинцевих у різних регіонах країни [11-14].

Дослідження репродуктивної біології [15], особливостей онтогенезу [16], екологічних чинників, що визначають структуру, стан та динаміку популяцій є ще одним важливим напрямом вивчення зозулинцевих [17-21].

Не менш важливим аспектом досліджень є виявлення нових місцезростань зозулинцевих та моніторинг їх популяцій [22-25]. Це дозволяє оцінити сучасний стан видів, визначити тенденції зміни чисельності та просторового розподілу, а також ідентифікувати чинники, що впливають на стабільність популяцій.

У ряді робіт наголошується на вузькій екологічній амплітуді та чутливості до антропогенного впливу більшості європейських видів орхідей, тому значна увага приділяється аналізу загроз існуванню популяцій зозулинцевих та заходам щодо їх збереження [26, 27]. Такі дослідження слугують основою для розробки і впровадження заходів охорони та управління природними популяціями, зокрема визначення пріоритетних локалітетів для охорони, організації моніторингових програм та оцінки ефективності охоронних заходів у межах заповідного фонду [28].

**Актуальність проблеми.** Попри наявність фундаментальних досліджень флори та рослинності Черкаської області, сучасний стан популяцій лісових видів *Orchidaceae* залишається недостатньо вивченим. Особливо це стосується локальних популяцій, чисельність і структура яких зазнають змін під впливом природних та антропогенних факторів.

У межах проєктованого національного природного парку «Ірдинське болото», що охоплює Ірдинський болотний масив та прилеглі лісові масиви Мошногірського кряжу й Черкаського бору, за літературними даними середини XX – початку XXI ст. зафіксовано щонайменше 13 видів родини *Orchidaceae*, які репрезентують болотні, лучно-болотні, лучні та лісові екотопи. Найдавніші відомості походять з класичних флористичних зведень середини XX ст. [29, 30], тоді як сучасні знахідки пов'язані переважно з територією затвердженого сайту Смарагдової мережі «Сосновий бір» [31, 32].

Види орхідей, відомі для цієї території, суттєво різняться за екологічною приуроченістю. Серед болотних і лучно-болотних відмічені *Epipactis palustris* (L.) Crantz, *Hammarbya paludosa* (L.) Kuntze, *Liparis loeselii* (L.) Rich., *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó, серед лісових – *Cephalanthera rubra* (L.) Rich., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Neottia ovata*

Bluff & Fingerh. (син. *Listera ovata*), *Neottia nidus-avis* (L.) Rich., *Hemipilia cucullata* (L.) Y.Tang, H.Peng & T.Yukawa (син. *Neottianthe cucullata*), *Platanthera chlorantha* (Custer) Rchb., узлісні екотони та вологі лісові луки були характерними для *Orchis militaris* L. і *Anacamptis morio* (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase (син. *Orchis morio*), тоді як *Platanthera bifolia* (L.) Rich. відзначається приуроченістю як до лісових, так і до лучних місцезростань.

Водночас значна частина локалітетів орхідей, наведених у працях середини XX ст., імовірно, зазнала істотної трансформації або була втрачена внаслідок осушення боліт, торфовидобування, зміни гідрологічного режиму та припинення традиційного використання луків, що призвело до їх заростання чагарниками та лісом. За відсутності цілеспрямованих повторних обстежень неможливо однозначно стверджувати про збереження популяцій низки рідкісних болотних і лучних видів на цих територіях. Значна частина видів, наведених у цих джерелах, зокрема *Orchis militaris* та *Anacamptis morio* (син. *Orchis morio*), була приурочена до екотонних і відкритих вологих оселищ, які зазнали найбільшої трансформації внаслідок осушення, торфовидобування та припинення традиційного землекористування, що, ймовірно, зумовило різке скорочення чисельності або зникнення їхніх популяцій. Імовірно, на цій території також втрачені популяції таких екологічно вузькоспеціалізованих видів, як *Hammarbya paludosa* та *Hemipilia cucullata* (син. *Neottianthe cucullata*).

У цьому контексті оновлення відомостей про сучасне поширення орхідей у регіоні, виявлення нових локалітетів, з'ясування їх біотопічної приуроченості та оцінки природоохоронного потенціалу популяцій мають велике наукове значення для збереження регіонального біорізноманіття.

**Мета дослідження:** оцінити регіональні особливості ценотичної приуроченості популяцій шести видів *Orchidaceae* у нововиявлених лісових локалітетах проєктованого НПП «Ірдинське болото».

#### Матеріали та методи дослідження

Рекогносциувальні дослідження проведено маршрутным методом на початку червня 2023 р. та в кінці травня 2025 р. Маршрути охоплювали південно-західну частину проєктованого НПП «Ірдинське болото» поблизу сіл Буда-Орловецька та Мале Старосілля в межах водозбору р. Ірдинь (Черкаська область).

Збір і опрацювання гербарного матеріалу здійснювали за стандартною методикою [33]. Назви таксонів подано відповідно до електронного ресурсу [34], а в окремих випадках – за [35].

Пробні площі для опису рослинності за участю рідкісних видів закладали у природних межах відповідних фітоценозів. Для лісових угруповань використовували ділянки площею 25 × 25 м. Проективне покриття видів в описових площах оцінювали у відсотках; покриття менше 1% позначали знаком «+». Визначення типів біотопів здійснювали на основі [36, 37].

Для визначення висотних характеристик рельєфу використовували електронний ресурс [38].

#### Результати дослідження та їх обговорення

У результаті маршрутних обстежень лісових ділянок на території Будянського лісництва філії «Центральний лісовий офіс» ДП «Ліси України» встановлено три нових локалітети спільного зростання шести видів лісових орхідей.

*Cephalanthera damasonium* (Mill.) Druce – рідкісний європейсько-середземноморський вид на східній межі ареалу. В Україні поширений у Карпатах, Поліссі, Західному Поділлі, Криму. У Лісостепу трапляється рідко [1].

*Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch. – рідкісний палеарктичний вид. В Україні поширений у Закарпатті, Карпатах, Поліссі, Лісостепу, Гірському Криму, у Степу – рідко [1].

*Epipactis helleborine* (L.) Crantz – поліморфний вид з широкою екологоценотичною амплітудою. В Україні має природоохоронний статус «неоцінений». Поширений у Карпатах, лісовій, лісостеповій, степовій зонах та Гірському Криму [1].

*Neottia nidus-avis* (L.) Rich. – західнопалеарктичний вид, що в Україні має природоохоронний статус «неоцінений». Становить важливий науковий інтерес рослина з мікогетеротрофним типом живлення. В Україні поширений у Карпатах, Закарпатті, Поліссі, Лісостепу, Північному Степу, Гірському Криму [1].

*Platanthera bifolia* (L.) Rich. – європейсько-середземноморський неморальний вид, що в Україні має природоохоронний статус «неоцінений». Поширений у Карпатах, Розточчі, Опіллі, Поліссі, Північному Лісостепу, Криму, дуже рідко трапляється у Степу [1].

*Platanthera chlorantha* (Cust.) Rchb. – європейсько-середземноморський вид, що в Україні має природоохоронний статус «неоцінений». Поширений у Карпатах, Розточчі, Опіллі, Поліссі, Лісостепу, Гірському Криму, зрідка – в Степу [1].

Згідно схеми фізико-географічного районування території, на якій виявлено місця зростання орхідей, належить до Городищенсько-Смілянського фізико-географічного району, Центрально-Придніпровської височинної області, Подільсько-Придніпровського краю, Лісостепової зони Східноєвропейської рівнинної фізико-географічної країни [39].

Ця територія в час рісського гляціалу (300-150 тис років тому) знаходилась у крайовій зоні Дніпровського льодовикового язика, а тому характерною особливістю є наявність тут масивів льодовиково-тектонічного походження, порушених породами мезо-кайнозойського віку, які чітко виділяються у вигляді підвищень, оточених зниженими ділянками давніх долин стоку вод [40]. Унаслідок цього близько до денної поверхні залягають багаті на крейду мезозойські породи, прикриті відкладами антропогенових лесовидних суглинків різної потужності, багатих на карбонати кальцію [38].

Значне вертикальне розчленування рельєфу (найвищі точки: 210-215 м н.р.м., найнижчі: 83 м н.р.м.) сприяє ефективному дренажу підземних водоносних горизонтів у нижніх частинах схилів. Подекуди відмічаються діючі джерела на висоті 130 м н.р.м. Наявний шар лесовидних суглинків із типовою капілярною структурою забезпечує стабільність рівня ґрунтової води, що визначає специфіку гідрологічних умов едафотопів, особливо у нижніх частинах схилів.

Місцезростання лісових орхідей приурочене до схилів Мошногірського кряжу в межах водозбору р. Ірдинь у південно-західній частині проєктованого НПП «Ірдинське болото» (рис. 1).

У верхньому ярусі зімкненістю 0,8-0,9 зростають: *Tilia cordata* Mill. 55%, *Fraxinus excelsior* L. 10%, *Carpinus betulus* L. 10%, *Acer campestre* L. 5%.

Розріджений підлісок представлений *Tilia cordata* 3%, *Corylus avellana* L. 2%, *Acer campestre* 2%, *Acer platanoides* L. + , *Populus tremula* L. + .

У трав'яному ярусі зростають *Carex pilosa* Scop. 60%, *Cardamine bulbifera* (L.) Crantz 3%, *Lathyrus niger* (L.) Bernh. 2%, *Allium ursinum* L. + , *Asarum europaeum* L. + , ***Cephalanthera longifolia*** + , *Dactylis glomerata* L. + , *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott + , ***Epipactis helleborine*** + , *Galium odoratum* (L.) Scop. + , *Glechoma hirsuta* Waldst. & Kit. + , *Hypericum hirsutum* L. + , *Hypericum perforatum* L. + , *Lamium galeobdolon* (L.) Crantz + , *Lathyrus vernus* (L.) Bernh. + , *Melampyrum nemorosum* L. + , *Melica nutans* L. + , *Mercurialis perennis* L. + ***Neottia nidus-avis*** + , ***Platanthera bifolia*** + , ***Platanthera chlorantha*** + , *Poa nemoralis* L. + , *Polygonatum multiflorum* (L.) All. + , *Pulmonaria obscura* Dumort. + , *Scutellaria altissima* L. + , *Stellaria holostea* L. + , *Viola odorata* L. + , *Viola riviniana* Rchb. + .

На ділянці зафіксовано понад 100 особин *Cephalanthera longifolia* та понад 100 особин *Epipactis helleborine*. Обидва види представлені переважно поодинокими пагонами з незначною перевагою особин догенеративного віку; на окремих локусах домінують генеративні пагони. Нечисленна (близько 20 особин) ценопопуляція *Neottia nidus-avis* представлена поодинокими пагонами генеративного віку. Ценопопуляція *Platanthera chlorantha* налічує кілька сотень особин (понад 250) з приблизно однаковим співвідношенням пагонів генеративного та догенеративного вікових станів. Ценопопуляція *Platanthera bifolia* менш чисельна – відмічено близько двох десятків пагонів.

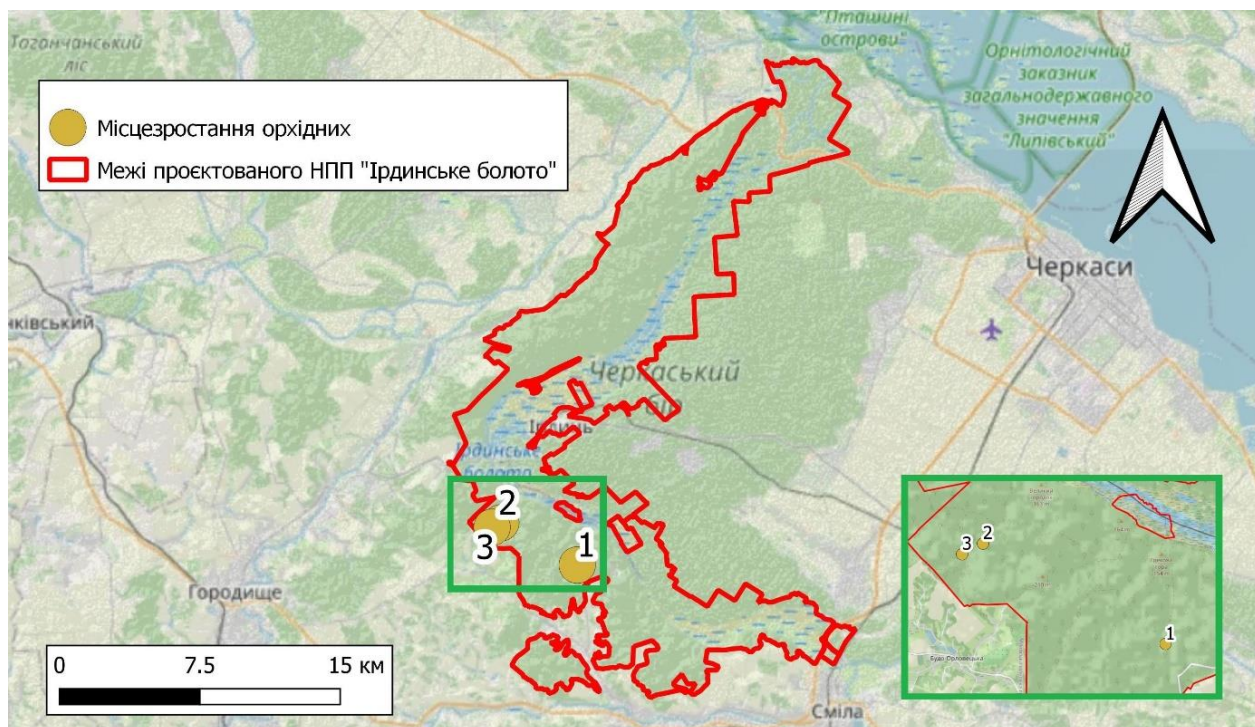


Рис. 1. Розташування виявлених локалітетів

**Ділянка № 1** площею близько 4 га розташована у нижній частині схилу західної експозиції із кутом нахилу поверхні близько 7°.

**Ділянка № 2** площею близько 3 га розташована удовж підніжжя крутого схилу (приблизно 20%) західної експозиції. Схил приурочений до верхів'я балки із ставком. Акваторія ставка формується за рахунок поверхнево-стічних та підземних вод, що дренуються на приблизно 8 м нижче від виявленої лісової ділянки.

У середній і нижній частинах схилової ділянки листяного лісу зафіксоване спільне зростання п'яти видів зозулинцевих. Найчисельнішою є ценопопуляція *Platanthera chlorantha* – вона представлена кількома десятками особин генеративного і прегенеративного віку. Ценопопуляції *Platanthera bifolia*, *Cephalanthera longifolia*, *Epipactis helleborine* та *Neottia nidus-avis* – малочисельні.

Деревостан сформований *Tilia cordata* Mill. 60%, *Carpinus betulus* L. 10%, *Quercus robur* L. + *Betula pendula* Roth. +. У підліску ростуть *Tilia cordata* Mill. +, *Carpinus betulus* L. +, *Acer platanoides* L. +, *Populus tremula* L. +, *Euonymus verrucosa* Scop. +.

У трав'яному ярусі домінує *Equisetum hyemale* L. (понад 10%). Також зростають *Carex pilosa* Scop. (місцями до 10%), *Cardamine bulbifera* (L.) Crantz +, *Cardaminopsis arenosa* (L.) Hayek +, *Carex digitata* L. +, ***Cephalanthera longifolia*** +, *Dactylis glomerata* L. +, *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott +, ***Epipactis helleborine*** +, *Lamium galeobdolon* (L.) Crantz +, *Lathyrus vernus* (L.) Bernh. +, *Melampyrum nemorosum* L. +, *Milium effusum* L. +, ***Neottia nidus-avis*** (L.) +, *Poa nemoralis* L. +, *Polygonatum multiflorum* (L.) All. +, *Populus tremula* L. +, ***Platanthera bifolia*** +, ***Platanthera chlorantha*** +, *Stellaria holostea* L. +.

**Ділянка № 3** площею близько 2,5 га у широколистяному лісі поблизу урочища «Синій камінь» приурочена до ділянок крутого схилу (приблизно 20%) західної експозиції, що спускається до днища обводненої лісової балки, яка належить до водозбору р. Ірдинь. Лісорослинні умови подібні до ділянки №2. Тут зафіксовано малочисельні ценопопуляції *Platanthera bifolia*, *Platanthera chlorantha*, *Cephalanthera longifolia*, *Cephalanthera damasonium*, *Neottia nidus-avis*.

Було відмічено, що склад і структура угруповань, до яких входять види *Orchidaceae*, істотно залежать від гідрологічних та едафічних умов. Саме специфіка зволоження, водно-

повітряний режим ґрунту та його фізико-хімічні властивості визначають загальну організацію фітоценозів у цих екосистемах.

Лісові масиви, у межах яких зростають виявлені види (дубово-грабово-ясеневі ліси на евтрофних і мезотрофних ґрунтах (G1.A1) та яружні й схиліві ліси (G1.A4)), віднесені до біотопів, що підлягають охороні відповідно до Резолюції № 4 Постійного комітету Конвенції про охорону дикої флори і фауни та природних середовищ існування в Європі (Бернської конвенції) [41]. Водночас обстежені ділянки розташовані на території Будянського лісництва, де проводиться традиційне лісокористування, і, ймовірно, зберегли свій природний стан лише завдяки специфіці рельєфу. Крутосхили унеможливають проведення інтенсивних лісгосподарських заходів, що сприяло збереженню цілісності цих біотопів та мінімізації антропогенного впливу.

Оскільки лісові біотопи в межах Ірдинського масиву досі залишаються значно менш дослідженими порівняно з болотними екосистемами, що традиційно привертали більшу увагу флористів, а лісові орхідеї зазвичай формують малочисельні, просторово розірвані ценопопуляції, чутливі до змін освітлення, структури деревостану та мікрорельєфу, їх виявлення є істотно ускладненим. Водночас ще на початку XX ст. для цієї території наводилися знахідки *Platanthera chlorantha* та *P. bifolia* [42], що свідчить про давню присутність лісових зозулинцевих у регіоні. Ймовірно, саме поєднання складності виявлення та відсутності систематичних повторних обстежень зумовило те, що низка сучасних місцезростань видів *Orchidaceae* раніше не відображалася в літературі, а *Cephalanthera damasonium* і *C. longifolia* зафіксовані вперше для цієї території. Це підкреслює високу соціологічну цінність лісових оселищ та нагальну потребу їх детального обстеження, зокрема для уточнення сучасного стану популяцій рідкісних видів *Orchidaceae*, а також обґрунтовує доцільність створення на цій території національного природного парку як ефективного інструменту збереження біорізноманіття та природних лісових екосистем.

Для тимчасового забезпечення охорони популяцій видів зозулинцевих на досліджених ділянках авторами подано звернення щодо створення трьох охоронних зон.

### Висновки та перспективи подальших розвідок

Проведені дослідження підтверджують високу різноманітність та стійкість популяцій лісових орхідей у виявлених локалітетах Правобережного Лісостепу. Встановлено, що у формуванні природної структури угруповань, до складу яких входять види *Orchidaceae*, провідну роль відіграють гідрологічні та едафічні характеристики схилівих фітоценозів. Найстабільніші популяції формують *Platanthera chlorantha*, *Cephalanthera longifolia* та *Epipactis helleborine*, що свідчить про їхню адаптивну перевагу до наявних ценотичних умов.

Отримані дані засвідчують, що виявлені місцезростання є цінними осередками збережених широколистяних лісових біотопів, а їхня природоохоронна значущість підсилюється наявністю видів, занесених до Червоної книги України. З огляду на це рекомендовано впровадження спеціальних режимів охорони, посилення моніторингу популяцій та подальше дослідження факторів, що визначають динаміку їхнього стану.

### Список використаної літератури

1. Червона книга України. Рослинний світ / За ред. Я. П. Дідуха Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
2. Akhalkatsi M., Arabuli G., Lorenz R. Orchids as indicator species of forest disturbances on limestone quarry in Georgia (South Caucasus). *Journal Europäischer Orchideen*. 2014. Vol. 46, No. 1. P. 123-160.
3. Hedley R. British trees associated with *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch. *Botanical Society of the British Isles*. 2011. No. 117. P. 32-34.
4. McKendrick S. L., Leake J. R., Taylor D. L., Read D. J. Symbiotic germination and development of the myco-heterotrophic orchid *Neottia nidus-avis* in nature and its requirement for locally distributed *Sebacina* spp. *New Phytologist*. 2002. Vol. 154, No. 1. P. 233-247.
5. Шевчик В. Л., Куземко А. А., Чорна Г. А. Список рідкісних видів рослин, що підлягають охороні в межах Черкаської області. *Заповідна справа в Україні*. 2006. Вип. 12 (1). С. 11-17.
6. Шевчик В. Л., Бакалина Л. В., Полішко О. Д. Про поширення деяких рідкісних видів рослин на Черкащині. *Вісник Черкаського університету. Сер. Біологічні науки*. 2009. Вип. 156. С. 135-149.

7. Govaerts R. World checklist of Orchidaceae. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. 2020. URL: <http://wcp.science.kew.org/> (date of access: 31.01.2020).
8. Štípková Z., Kindlmann P. Factors determining the distribution of orchids – a review with examples from the Czech Republic. *European Journal of Environmental Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 1. P. 21-30.
9. Fay M. F. Orchid conservation: how can we meet the challenges in the twenty-first century? *Botanical Studies*. 2018. Vol. 59, No. 1. Article 16.
10. Lussu M., Ancillotto L., Labadessa R., Di Musciano M., Zannini P., Testolin R., Chiarucci A. Prioritizing conservation of terrestrial orchids: a gap analysis for Italy. *Biological Conservation*. 2024. Vol. 289. Article 110385.
11. Стороженко Ж. Рідкісні орхідні (*Orchidaceae*) в НПП «Хотинський» (екологія поширення, біотопічна диференціація). *Об'єкти природно-заповідного фонду України: сучасний стан та шляхи забезпечення ефективної їх діяльності: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції, з нагоди 10-ї річниці Національного природного парку «Мале Полісся»* (м. Славута, Хмельницька обл., 3–4 серпня 2023 р.). Славута, 2023. С. 152-155.
12. Токарюк А. І., Никирса Т. Д., Чорней І. І., Буджак В. В., Коржан К. В. Зозулинцеві (*Orchidaceae* Juss.) на території м. Чернівці: хорологічні та фітоценотичні особливості. *Біологічні системи*. 2020. Т. 12. Вип. 2. С. 232-244.
13. Токарюк А. І., Чорней І. І., Буджак В. В. Види родини Зозулинцеві (*Orchidaceae* Juss) у національному природному парку «Вижницький»: поширення, ценотична приуроченість. *Біологічні системи*. 2018. Т. 10. Вип. 2. С. 198-218.
14. Мельник В. І., Шиндер О. І., Несин Ю. Д. Поширення *Cypripedium calceolus* (*Orchidaceae*) в Україні. *Український ботанічний журнал*. 2018. Вип. 75, № 1. С. 20-32.
15. Клименко Г. О., Коваленко І. М. Особливості репродукції рідкісних видів рослин родини *Orchidaceae*. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2016. № 4.
16. Маруха Т., Тихонова О. Віталітетна та онтогенетична структура популяцій *Neottia ovata* (L.) Bluff & Fingerh в лісових та лучних фітоценозах. *Природнича освіта та наука*. 2024. Вип. 6. С. 119-127.
17. Pylypiv Yu. Structural features of the *Orchidaceae* populations. *Scientific Horizons*. 2020. Vol. 23, No. 10. P. 33-46.
18. Музиченко О. С., Боярин М. В., Буднік З. М. Стан ценопопуляцій *Platanthera bifolia* (L.) Rich. на території Ківерцівського національного природного парку «Думанська пуця». *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2024. Т. 2, № 106. С. 84-99.
19. Хомин І. Г., Ференц Н. М., Стрянець Г. В. Стан популяцій деяких видів родини *Orchidaceae* в природному заповіднику «Розточчя». *Основні проблеми і тенденції розвитку природоохоронних територій в Українських Карпатах*. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 25-й річниці з дня створення природного заповідника «Горгани» (Україна, м. Надвірна, 16-17 вересня 2021 р.). Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2021. С. 233-238.
20. Штогрин М. О., Штогун А. О., Ляшук І. Я. Стан ценопопуляції *Neottianthe cucullata* (L.) Schlechter (*Orchidaceae*) на території національного природного парку «Кременецькі гори». *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія: «Екологія. Публічне управління та адміністрування»*. 2023. Вип. 4. С. 32-37.
21. Мельник В. І., Баранський О. Р. Динаміка ареалу *Hemipilia cucullata* (*Orchidaceae*) в межах України. *Український ботанічний журнал*. 2025. Вип. 82, № 1. С. 31-45.
22. Надточій Г. С. Знахідки нових місцезростань рослин родини Зозулинцеві (*Orchidaceae*) на території м. Харків. *Зустрічі видів, занесених до Червоної книги України та міжнародних угод. Серія: Conservation Biology in Ukraine*. Вип. 19. Київ, 2020. С. 335-336.
23. Лобань Л. О., Дідик Л. В., Таран Т. А. Нове місцезнаходження *Epipactis palustris* (L.) Crantz на Лівобережному Поліссі. *The VII th International scientific and practical conference «Topical issues of science and practice»*. November 02-06, 2020 London, Great Britain. 2020. С. 70-72.
24. Козир М. С. Нові знахідки *Neottia nidus-avis* (L.) Rich. в НПП «Подільські Товтри». Подільські читання. Охорона довкілля, збереження біотичного та ландшафтного різноманіття, природнича освіта: проблеми, перспективи, рішення : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (11-13 жовт. 2021 р., Хмельницький) / за заг. ред. Г. А. Білецької. Хмельницький : ХНУ, 2021. С. 54-55.
25. Шиндер О. І. Види родини *Orchidaceae* в Голованівських лісах (захід Кіровоградської області. *Інтродукція рослин*. 2017. № 4. С. 28-37.
26. Пилипів Ю., Кияк В. Природні й антропогенні загрози існуванню популяцій видів родини орхідних (*Orchidaceae* Juss.) у басейні Полтви (Львівська область). *Вісник ХНАУ. Серія : Біологія*. 2021. №3 (54). С. 82-97.
27. Бобрик І. В., Онук Л. Л., Штогун А. О. Заходи щодо збереження видів родини *Orchidaceae* в урочищі Барабан національного природного парку «Кременецькі гори». *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2018. № 3-4. С. 17-20.
28. Бумар Г. Й. Результати багаторічного популяційного моніторингу рідкісних видів рослин в поліському природному заповіднику. *Моніторинг та охорона біорізноманіття в Україні. Серія: Conservation Biology in Ukraine*. Вип. 16, Т. 1. С. 25-34.
29. Гловацька О. Д. Флора Канівського біогеографічного заповідника та його околиць. Труді Канівського біогеографічного заповідника. 1950. Вип. 8. С. 30-54.
30. Флора УРСР : у 12 т. / за ред. М. І. Котова, А. І. Барбарича. Т.3. Київ : Видавництво академії наук УРСР, 1950. 427 с.



31. Соломаха І. В., Шевчик В. Л. Фітосозологічне значення об'єктів Смарагдової мережі Дніпровського екологічного коридору в межах Лісостепу України. *Біологічні системи*. 2020. Т. 12. № 1. С. 72-83.
32. Solomakha I. V., Konishchuk V. V., Mudrak O. V., Mudrak H. V. A study of the Emerald Network objects in Ukrainian Forest-Steppe of Dnieper Ecological Corridor. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10, No. 2. P. 209-218.
33. Чорна Г. А. Практикум з гербарної справи: навч. посібн. Умань: ВПЦ «Візаві», 2021. 171 с.
34. World Flora Online. (n.d.). Retrieved December 23, 2025, from <http://www.worldfloraonline.org>
35. Mosyakin S. L., Fedoronchuk M. M. Vascular plants of Ukraine: A nomenclatural checklist. Kyiv: National Academy of Sciences of Ukraine – M. G. Kholodny Institute of Botany, 1999. 345 p.
36. Тлумачний посібник оселищ Резолюції №4 Бернської конвенції, що знаходяться під загрозою і потребують спеціальних заходів охорони. Перша версія адаптованого неофіційного перекладу з англійської (третього проекту офіційної версії 2015 року) / А. Куземко, С. Садогурська, О. Василюк. Київ, 2017. 124 с.
37. Національний каталог біотопів України / За ред. А. А. Куземко, Я. П. Дідуха, В. А. Онищенко, Я. Шеффера. Київ : ФОП Клименко Ю.Я., 2018. 442 с.
38. Карта висот над рівнем моря. URL: <https://uff.pp.ua/vysota.html>
39. Екологічна енциклопедія. Київ: Центр екологічної освіти та інформації, 2006. Т. 1. 432 с.
40. Физико-географическое районирование Украинской ССР. Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1968. 683 с.
41. Council of Europe. (2019). *Revised Annex I to Resolution No. 4 (1996) of the Bern Convention on endangered natural habitat types using the EUNIS habitat classification*. <https://rm.coe.int/16807469e7>
42. Зеров Д. К. До флори Черкаської округи. *Вісник Київського ботанічного саду*. 1924. Вип. 1. С. 5-26.

#### References

1. Didukh, Ya. P. (Ed.). (2009). Red Data Book of Ukraine. Plant world. Hlobalconsulting.
2. Akhalkatsi, M., Arabuli, G., & Lorenz, R. (2014). Orchids as indicator species of forest disturbances on limestone quarry in Georgia (South Caucasus). *Journal Europäischer Orchideen*, 46(1), 123-160.
3. Hedley, R. (2011). British trees associated with *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch. *Botanical Society of the British Isles*, 117, 32-34.
4. McKendrick, S. L., Leake, J. R., Taylor, D. L., & Read, D. J. (2002). Symbiotic germination and development of the myco-heterotrophic orchid *Neottia nidus-avis* in nature and its requirement for locally distributed *Sebacina* spp. *New Phytologist*, 154(1), 233-247.
5. Shevchyk, V. L., Kuzemko, A. A., & Chorna, H. A. (2006). List of rare plant species protected in Cherkasy Region. *Zapovidna sprava v Ukraini [Nature Conservation in Ukraine]*, 12(1), 11-17.
6. Shevchyk, V. L., Bakalyina, L. V., & Polishko, O. D. (2009). Distribution of some rare plant species in Cherkasy Region. *Visnyk Cherkaskoho universytetu. Ser. Biologichni nauky [Bulletin of Cherkasy University. Biological Sciences]*, 156, 135-149.
7. Govaerts, R. (2020). *World checklist of Orchidaceae*. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Retrieved January 31, 2020, from <http://wmsp.science.kew.org/>
8. Štípková, Z., & Kindlmann, P. (2021). Factors determining the distribution of orchids—a review with examples from the Czech Republic. *European Journal of Environmental Sciences*, 11(1), 21-30.
9. Fay, M. F. (2018). Orchid conservation: how can we meet the challenges in the twenty-first century?. *Botanical studies*, 59(1), 16.
10. Lussu, M., Ancillotto, L., Labadessa, R., Di Musciano, M., Zannini, P., Testolin, R., ... & Chiarucci, A. (2024). Prioritizing conservation of terrestrial orchids: A gap analysis for Italy. *Biological Conservation*, 289, 110385.
11. Storozhenko, Zh. (2023). Rare orchids (Orchidaceae) in Khotynskyi National Nature Park (distribution ecology and habitat differentiation). In *Protected areas of Ukraine: Current state and ways to ensure their effective management* (Proceedings of the All-Ukrainian scientific and practical conference dedicated to the 10th anniversary of Malyy Polissia National Nature Park, Slavuta, Khmelnytskyi Region, August 3-4, 2023) (pp. 152-155). Slavuta.
12. Tokariuk, A. I., Nykyrysa, T. D., Chornei, I. I., Budzhak, V. V., & Korzhan, K. V. (2020). Orchidaceae in Chernivtsi city: chorological and phytocoenotic features. *Biologichni systemy [Biological Systems]*, 12(2), 232-244.
13. Tokariuk, A. I., Chornei, I. I., & Budzhak, V. V. (2018). Orchidaceae species in Vyzhnytsia National Nature Park. *Biologichni systemy [Biological Systems]*, 10(2), 198-218.
14. Melnyk, V. I., Shnyder, O. I., & Nesyn, Y. D. (2018). Distribution of *Cypripedium calceolus* (Orchidaceae) in Ukraine. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal [Ukrainian Botanical Journal]*, 75(1), 20-32.
15. Klymenko, H. O., & Kovalenko, I. M. (2016). Reproductive features of rare plant species of the family Orchidaceae. *Naukovi dopovidi Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy [Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine]*, 4. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd\\_2016\\_4\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2016_4_10)
16. Marukha, T., & Tykhonova, O. (2024). Vitality and ontogenetic structure of *Neottia ovata* (L.) Bluff & Fingerh populations in forest and meadow phytocoenoses. *Pryrodnycha osvita ta nauka [Natural Science Education and Research]*, 6, 119-127.
17. Pylypiv Yu. (2020). Structural features of the Orchidaceae populations. *Scientific Horizons*. 23(10), 33-46.
18. Muzychenko, O. S., Boiaryn, M. V., & Budnik, Z. M. (2024). Status of coenopopulations of *Platanthera bifolia* (L.) Rich. in Tsuman Pushcha National Nature Park. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. Seriya: Silskohospodarski nauky [Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering. Agricultural Sciences]*, 106(2), 84-99.

19. Khomyn, I. H., Ferents, N. M., & Striamets, H. V. (2021). Population status of some Orchidaceae species in the Roztochia Nature Reserve. In *Main problems and trends in the development of protected areas in the Ukrainian Carpathians: Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 25th anniversary of the Horgany Nature Reserve* (pp. 233-238). Ivano-Frankivsk: Symfoniia Forte.
20. Shtohryn, M. O., Shtohun, A. O., & Liashuk, I. Y. (2023). Status of the coenopopulation of *Neottianthe cucullata* (L.) Schltr. in Kremenets Mountains National Nature Park. *Naukovyi visnyk Vinnytskoi akademii bezpererвної osvity. Serii: «Ekolohiia. Publichne upravlinnia ta administruvannia»* [Scientific Bulletin of Vinnytsia Academy of Continuing Education], 4, 32-37.
21. Melnyk, V. I., & Baranskyi, O. R. (2025). Dynamics of the distribution range of *Hemipilia cucullata* (Orchidaceae) in Ukraine. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal* [Ukrainian Botanical Journal], 82(1), 31-45.
22. Nadtochii, H. S. (2020). New localities of Orchidaceae species in the city of Kharkiv. In *Records of species listed in the Red Data Book of Ukraine and international conventions, Conservation Biology in Ukraine* (Vol. 19, pp. 335-336). Kyiv.
23. Loban, L. O., Didyk, L. V., & Taran, T. A. (2020). A new locality of *Epipactis palustris* (L.) Crantz in Left-bank Polissia. In *Topical issues of science and practice* (pp. 70-72). London, United Kingdom.
24. Kozyr, M. S. (2021). New records of *Neottia nidus-avis* (L.) Rich. in Podilski Tovtry National Nature Park. In H. A. Biletska (Ed.), *Podilski chytannia: Okhorona dovkillia, zberezhennia biotychnoho ta landshaftnoho riznomanittia, pryrodnycha osvita: problemy, perspektyvy, rishennia* [Podilian Readings: Environmental protection, conservation of biotic and landscape diversity, natural science education: problems, prospects, solutions] (pp. 54-55). Khmelnytskyi National University.
25. Shnyder, O. I. (2017). Orchidaceae species in the Holovanivsk forests. *Introduktsiia roslyn* [Plant Introduction], 4, 28-37.
26. Pylypiv, Y., & Kyiak, V. (2021). Natural and anthropogenic threats to populations of Orchidaceae species in the Poltava River basin. *Visnyk KhNAU. Serii: Biolohiia* [Bulletin of KhNAU. Biology Series], 3(54), 82-97.
27. Bobryk, I. V., Onuk, L. L., & Shtohun, A. O. (2018). Measures for the conservation of Orchidaceae species in the Baraban tract of Kremenets Mountains National Nature Park. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii: Biolohiia* [Scientific Notes of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology], (3-4), 17-20.
28. Bumar, H. Y. (2016). Results of long-term population monitoring of rare plant species in the Polissia Nature Reserve. *Monitorynh ta okhorona bioriznomanittia v Ukraini. Serii: Conservation Biologyin Ukraine* [In Monitoring and conservation of biodiversity in Ukraine. Conservation Biology in Ukraine], 16(1), 25-34.
29. Hlovatska, O. D. (1950). Flora of the Kaniv Biogeographical Reserve and its surroundings. *Trudy Kanivskoho bioheohrafichnoho zapovidnyka* [Proceedings of the Kaniv Biogeographical Reserve], 8, 30-54.
30. Kotov, M. I., & Barbarich, A. I. (Eds.). (1950). *Flora of the Ukrainian SSR* (Vol. 3). Kyiv: Academy of Sciences of the Ukrainian SSR.
31. Solomakha, I. V., & Shevchyk, V. L. (2020). Phytosozological significance of Emerald Network sites of the Dnipro ecological corridor in the Forest-Steppe of Ukraine. *Biolohichni systemy* [Biological Systems], 12(1), 72-83.
32. Solomakha, I. V., Konishchuk, V. V., Mudrak, O. V., & Mudrak, H. V. (2020). A Study of the Emerald Network objects in Ukrainian Forest-Steppe of Dnieper Ecological Corridor. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(2), 209-218.
33. Chorna, H. A. (2021). *Herbarium studies: Practical manual*. Uman: Vizavi.
34. World Flora Online. (n.d.). Retrieved December 23, 2025, from <http://www.worldfloraonline.org>
35. Mosyakin, S. L., & Fedoronchuk, M. M. (1999). *Vascular plants of Ukraine: A nomenclatural checklist*. Kyiv, Ukraine: National Academy of Sciences of Ukraine, M.G. Kholodny Institute of Botany.
36. Kuzemko, A., Sadogurska, S., & Vasyluk, O. (Eds.). (2017). *Interpretation manual of habitats of Resolution No. 4 of the Bern Convention that are under threat and require special conservation measures* (First adapted unofficial translation from English of the third draft of the official version, 2015). Kyiv.
37. Kuzemko, A. A., Didukh, Ya. P., Onyshchenko, V. A., & Sheffer, Ya. (Eds.). (2018). *National habitat catalogue of Ukraine*. Kyiv: FOP Klymenko.
38. Map of elevations above sea level (n.d.). Retrieved December 24, 2025, from <https://uff.pp.ua/vysota.html>
39. *Ecological encyclopedia* (Vol. 1). (2006). Kyiv: Center for Environmental Education and Information.
40. *Physical-geographical regionalization of the Ukrainian SSR*. (1968). Kyiv: Kyiv University Press.
41. Council of Europe. (2019). *Revised Annex I to Resolution No. 4 (1996) of the Bern Convention on endangered natural habitat types using the EUNIS habitat classification*. <https://rm.coe.int/16807469e7>
42. Zerov, D. K. (1924). Contribution to the flora of the Cherkasy district. *Visnyk Kyivskoho botanichnoho sadu* [Bulletin of the Kyiv Botanical Garden], (1), 5-26.

**Shevchyk V. L., Spriahailo O. A., Spriahailo O. V., Lavrinenko K. V., Lysenko R. V.**  
**NEW RECORDS OF FOREST ORCHIDS IN THE TERRITORY OF THE PROPOSED**  
**«IRDYNSKE MARSH» NATIONAL NATURE PARK**

In Cherkasy Oblast (Ukraine), the current status of populations of forest orchid species (*Orchidaceae*) remains insufficiently studied. This particularly concerns local populations, whose size and structure are subject to changes driven by both natural and anthropogenic factors. Within



the boundaries of the proposed National Nature Park «Irdynske Marsh», which encompasses the Irdyn wetland massif as well as the adjacent forest areas of the Moshnohirskyi Ridge and the Cherkasy Pine Forest, at least 13 species of the family Orchidaceae have been reported according to available literature data. However, a substantial proportion of previously documented orchid localities has likely undergone significant transformation or has been lost as a result of wetland drainage, peat extraction, forest logging, and other disturbances. In this context, updating data on the current distribution of forest orchids in the region, identifying new localities, clarifying their habitat affinities, and assessing the conservation potential of their populations are of considerable scientific importance for the preservation of regional biodiversity and natural habitats.

**Purpose.** The aim of this study was to assess regional patterns of coenotic (community-level) habitat affiliation of populations of six *Orchidaceae* species in newly discovered forest localities within the proposed National Nature Park «Irdynske Marsh».

**Methods.** Reconnaissance surveys were conducted using route-based methods in early June 2023 and late May 2025. Sample plots for geobotanical descriptions involving rare species were established within the natural boundaries of the respective phytocoenoses. For forest communities, plots measuring 25 × 25 m were used. The projective cover of species within the plots was estimated as percentages; values below 1% were indicated by the symbol «+».

**Results.** As a result of surveys carried out in forest stands of the Budyanske Forestry within the proposed National Nature Park «Irdynske Marsh», three new localities of co-occurrence of six forest orchid species were identified: *Cephalanthera damasonium*, *C. longifolia*, *Epipactis helleborine*, *Neottia nidus-avis*, *Platanthera bifolia*, and *P. chlorantha*.

It was established that the hydrological and edaphic characteristics of slope phytocoenoses play a key role in shaping the natural structure of plant communities containing *Orchidaceae* species. The most stable populations were formed by *Platanthera chlorantha*, *Cephalanthera longifolia*, and *Epipactis helleborine*, indicating their strong ecological association with the prevailing environmental conditions.

The forest stands hosting forest orchid species – oak – hornbeam – ash forests on eutrophic and mesotrophic soils (G1.A1) and ravine and slope forests (G1.A4) – belong to habitat types subject to protection under Resolution No. 4 of the Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats (Bern Convention). At the same time, the surveyed sites are located in areas subjected to traditional forest management and have likely retained their near-natural condition primarily due to the specific topography. Steep slopes prevent intensive forestry practices, thereby contributing to the preservation of habitat integrity and minimizing anthropogenic pressure.

**Originality.** The recorded localities of *Orchidaceae* species have not been previously reported in the literature. *Cephalanthera damasonium* and *C. longifolia* are documented for the first time within the territory of the proposed Irdynske Swamp National Nature Park. These findings highlight the high conservation value of forest habitats and the need for their detailed investigation, particularly to clarify the current status of populations of rare *Orchidaceae* species. Based on the survey results, the authors submitted a formal proposal for the establishment of protected zones aimed at conserving orchid species at the studied sites.

**Conclusion.** The obtained data indicate that the newly identified localities represent valuable refugia of well-preserved broadleaf forest habitats. In this context, the implementation of special protection regimes, strengthening of population monitoring, and further investigation of factors governing population dynamics are recommended.

УДК 612.13

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-2-98-109

Лілія Іванівна Юхименко

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[liyukhimenko@ukr.net](mailto:liyukhimenko@ukr.net)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4455-6233>

Володимир Вікторович Козак

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

[kozakvolodymyr1984@gmail.com](mailto:kozakvolodymyr1984@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1450-4284>

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕМОДИНАМІКИ ВЕРХНЬОЇ ПОРОЖНИСТОЇ ВЕНИ ПІД ЧАС ДИХАЛЬНОГО ЦИКЛУ У РІЗНИХ ПРОЕКЦІЙНИХ ПОЛОЖЕННЯХ ТІЛА

**Анотація.** Вивчення впливу дихальної модуляції на гемодинаміку порожнистих вен у різних проекційних положеннях тіла дає можливість виявити роль дихального циклу у венозному поверненні крові до серця, динаміці кровотоку в судинах та реактивності центральної гемодинаміки. Вдих і видих, як і проекція тіла в просторі, є потужними регуляторами серцево-судинної діяльності. Застосування ультразвукового методу оцінки гемодинаміки верхньої порожнистої вени (ВПВ) у різних проекційних положеннях тіла та фазах дихання створює можливості для поглибленого вивчення перебігу фізіологічних процесів у нормі та патології. Метою роботи було з'ясування особливостей гемодинаміки ВПВ дорослих людей за допомогою методу ультразвукової доплерографії.

Обстежували 25 практично здорових волонтерів обох статей віком 19-27 років. Проводили УЗД-доплерографічну оцінку морфо-метричних показників ВПВ, функціональних характеристик кровотоку у ВПВ та параметрів центральної гемодинаміки. Аналізували гемодинаміку у різних фазах дихання та проекційних положеннях (горизонтально на спині та при супінації на лівому боці) апаратом Siemens Juniper Acuson (USA). Отримані фактичні дані обробляли методом варіаційної статистики за пакетом програм Microsoft Excel 2019.

Виявлено достовірні відмінності діаметрів ВПВ, зафіксованих у різних фазах дихального циклу та проекційних положеннях тіла. Встановлено, що функціональні характеристики ВПВ залежали як від діаметру судини, так і її здатності до змін у відповідності з фазами дихального циклу. Встановлено більш помітна варіативність показників центральної гемодинаміки у проекційному положенні лежачи на спині. Незалежно від фази дихання та положення тіла кровотік ВПВ характеризувався переважанням систолічних пікових швидкостей над діастолічними. Дихальна модуляція пікових швидкостей проявлялась переважанням систолічних і діастолічних пікових швидкостей у фазі вдиху над такими у фазі видиху та апное. Виявлено тенденцію до зниження функціональної спроможності правого шлуночка серця обстежуваних, які мали нижню межу норми за діаметром ВПВ та невисокі пікові швидкості кровотоку під час вдиху і видиху. Встановлено зворотній зв'язок між діаметром ВПВ та домінуванням симпатичного відділу автономної нервової системи в управлінні серцевою діяльністю.

**Ключові слова:** гемодинаміка, верхня порожниста вена, дихання, положення тіла.

**Постановка питання.** Як відомо, порушення гемодинаміки в системі верхньої порожнистої вени (ВПВ), що проявляються ускладненням відтоку деоксигенованої крові від верхніх частин тіла до правих відділів серця, можуть загрожувати наростанням ішемічних процесів [3, 4]. Недостатнє постачання кисню спричинює гіперперфузію мозку, створює

небезпеку зниження рівня метаболізму глюкози, яка постачається кров'ю та сприяє виникненню різноманітних церебральних ангіопатій [5].

Серед наслідків порушення венозного відтоку через ВПВ – зменшення серцевого викиду, розвиток системної гіпотензії. Ріст венозного тиску в системі ВПВ підвищує ризик тромбозу церебральних судин та ініціює незворотні зміни. Встановлено, що знижений кровотік через ВПВ створює умови, сприятливі для стазу, що посилює можливість утворення тромбів у венах верхніх кінцівок та глибоких венах голови та шиї [17].

ВПВ є тонкостінною судиною, що знаходиться в середньому середостінні між такими утвореннями як грудина, аорта, трахея, бронхи, лімфатичні вузли, які не надійно захищають її від можливості обструкції [5]. Слід розуміти, що хоч у ВПВ венозний тиск фізіологічно порівняно невисокий і існує велика кількість анастомозів з басейном нижньої порожнистої вени, які здатні за певних обставин деякою мірою компенсувати порушення кровообігу, транспорт крові може ускладнюватися багатьма чинниками. Серед них: небезпека зовнішнього стиснення вени, закупорка судини. Не виключено, що порушення гемодинаміки можуть бути спричинені і морфо-метричними особливостями вен.

Для адекватного функціонування організму, і в першу чергу, серця, мозку та інших органів, необхідний високий рівень кровообігу, в якому велику роль відіграють порожнисті вени, і зокрема ВПВ. У зв'язку із цим, важливо вивчити вплив фаз дихання (вдиху та видиху) на венозний відтік, який на сьогодні все ще залишається мало з'ясованим. Водночас, важливим є врахування гемодинамічних реакцій, які розвиваються у відповідь на дію факторів гравітації. Вони виникають при зміні положення тіла у просторі і можуть ускладнювати перебіг кровообігу, що теж потребує з'ясування.

Серед сучасних, порівняно не дорогих, швидких та інформативних засобів вивчення гемодинаміки в різних умовах існування організму, які не містять навантаження опроміненням вигідно вирізняється ультра звуковий метод дослідження. Особливо цінною така інформація може виявитися у медичній практиці оцінки та прогнозу розвитку можливих патологічних станів або плануванні лікувальних маніпуляцій, спрямованих на унеможливлення виникнення пошкоджень венозної стінки, порушень кровотоку тощо [6].

Слід зазначити, що проблемна гемодинаміка ВПВ може спричинювати розлади церебрального кровообігу. Відомо, що гіпоксія тканин мозку призводить до ішемічних проявів, які потребують ранньої діагностики. Адже вони можуть стати тригером біохімічних ланцюгових реакцій, які виснажують нейрони, мембранний транспорт, спричинюють іонний дисбаланс та некротичні зміни [7].

Отже, на сьогодні проблема гемодинамічних особливостей ВПВ чекає подальшого вирішення. Пошук нових діагностичних підходів до вивчення характеристик венозного відтоку від голови та верхньої частини тіла, впливу на нього різноманітних факторів, у тому числі фаз дихання та гравітації залишається актуальним. До того ж, така розвідка може стати у нагоді під час винайдення нових способів встановлення морфо-функціональних особливостей ВПВ, підбору терапевтичних тактик та рішень до відновлення (нормалізації) венозної гемодинаміки, що дозволить нівелювати ризик розвитку кисневого дефіциту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Важкі нейро- та кардіо-гемодинамічні порушення, як наслідки розладів гемодинаміки ВПВ вже не одне десятиліття турбують фізіологів, морфологів, анестезіологів, хірургів [5]. Зниження артеріального венозного градієнта тиску в судинах мозку здатне спричинити важкі порушення у роботі головного мозку аж до смерті [6]. Автори наголошують, що системна гіпотензія, високий венозний тиск у басейні ВПВ загрожує ризиком розвитку тромботичних явищ у церебральних судинах [7]. З літератури відомо, що у разі гемодинамічних зрушень у багатьох випадках виникає венозний застій, органічне ураження та дистрофічні зміни тканин мозку, функціональні розлади, крововиливи органів середостіння, оклюзія вен і венозних пазух черепа, запалення підфасціальних вен тощо [13].

Повідомляється, що ускладнення через порушення гемодинаміки ВПВ проявляються розладами діяльності центральної нервової системи у вигляді епілептиформних епізодів і невротичних станів. Важкі випадки венозного застою можуть супроводжуватися неможливістю перебування людини у горизонтальному положенні тіла, що вказує на зв'язок між гравітацією і гемодинамікою ВПВ [5]. Про порушення гемодинаміки у ВПВ може свідчити зовнішній огляд: збільшення та виразна окресленість вен верхньої частини тулуба (лицевих, шийних, грудних вен, повнокрів'я венозних судин верхніх кінцівок) [3, 4].

Сьогодні ні в кого не виникає сумнівів, що якісна діагностика повинна враховувати морфологічні, функціональні ознаки порушення гемодинаміки ВПВ. Серед важливих морфометричних показників є визначення діаметру ВПВ, товщини її стінки. Щодо функціональних параметрів, то науковці вказують на високу інформативність показників швидкості руху крові [5].

Разом із тим, маловивченими є питання, пов'язані із виявленням впливу процесу дихання на кровотік у ВПВ. Такі відомості могли б значно полегшити не тільки уявлення про фізіологічні механізми розвитку патологічних процесів, але й етапність розгортання порушень, сприяти уточненню їх оцінки та можливих масштабів наслідків [9].

Серед класичних методів виявлення відхилень у гемодинаміці ВПВ є застосування флебографії, яка вважалась неоцінним інструментом кінця ХХ століття [5]. Використання рентгенографічного методу дослідження до цього часу значно полегшує розуміння морфологічного стану ВПВ. Разом із тим, на сьогодні місце «золотого стандарту» діагностики судинних порушень, зокрема ВПВ, зайняли засоби променевої діагностики, передусім, магнітно-резонансна томографія [5, 18]. Водночас, променеве навантаження, дорожнеча, тривалість процедури та обробки результатів створюють певні труднощі. Крім того, не дивлячись на достатньо високу інформативність, метод магнітно-резонансної томографії не завжди дозволяє виявити функціональні показники гемодинаміки внаслідок методичного виконання процедури: під час сеансу діагностики не можна змінювати положення у просторі і ін.

На відміну від цього, метод ультразвукової доплерографії (УЗД) є порівняно дешевим мобільним засобом оцінки як морфологічних, так і функціональних характеристик гемодинаміки порожнистих вен. Завдяки доступності та неінвазивному характеру, він набув популярності в оцінці станів ВПВ в останні роки [8]. У звіті про клінічний випадок, який опублікували А. Birch зі співавторами, продемонстровано значення УЗД для швидкої ідентифікації синдрому верхньої порожнистої вени [10]. Науковці наголошують, що виявлення значно розширених вен, разом зі стійкими симптомами, свідчить про діагноз синдрому ВПВ, що має спонукати до подальшого обстеження [11]. Водночас, на сьогодні застосування УЗД для дослідження гемодинаміки ВПВ є обмеженим внаслідок відсутності уніфікованих базових даних, технологій прийомів оцінки, трактування фактичного матеріалу, що потребує накопичення матеріалів та часу.

Але складно не погодитись, що якісна діагностика, продуманий дизайн дослідження може слугувати надійною основою для виявлення особливостей фізіологічних процесів, які розгортаються у ВПВ. Такі відомості стануть корисними у лікуванні та профілактиці різноманітних порушень кровообігу. Тим більше, що розлади гемодинаміки ВПВ можуть спричинювати порушення, у першу чергу, мозкової і серцевої діяльності, що робить проблему актуальною, хоч і не легкою для вирішення [12].

На жаль, в наш час в Україні спостерігається сумна статистична траєкторія зростання смертності від серцево-судинних та неврологічних захворювань, інвалідизації населення, зменшення тривалості життя. Почастішання випадків зниження скоротливої властивості серця, виникнення явищ серцевої недостатності вказує на існування гіпоксичних, обмінних, електролітних зрушень у міокарді, які виникають внаслідок збурення гемодинамічних процесів у ВПВ людини, що потребує подальших всебічних досліджень [5].

Науковці наголошують на необхідності проведення якомога ранньої діагностики, починаючи з морфологічних ознак судинної патології, функціональних розладів, які посилюють

важкість перебігу фізіологічних процесів, вказують на можливість розвитку ускладнень [4]. У літературі акцентується на важливості пошуку нових підходів, які допоможуть розкрити міжсистемні взаємодії, передусім, між кровообігом і диханням, кровообігом та мозковою активністю тощо. Адже якісна діагностика та фізіологічна оцінка здатні привнести нові можливості по запобіганню ранніх ознак дефіцитарності церебрального кровообігу, зниження інтелектуальних здібностей, когнітивних функцій, розвитку деменції тощо [8, 10]. Знання про анатомічні, фізіологічні характеристики, особливості швидкісного перебігу кровотоку, впливу фаз дихального циклу на гемодинаміку порожнистих вен допоможе збільшити можливості розуміння її вікових, статевих відмінностей, що сприятиме відповідному застосуванню необхідних запобіжних заходів, профілактиці ускладнень та підвищенню якості життя [16].

Недостатність кровопостачання мозку, венозна гіпертензія, посилення ішемічних процесів, пов'язані з порушеннями гемодинаміки ВПВ, збільшують статистику розвитку цереброваскулярних захворювань, провокує комплекс патологічних змін з боку міокарду та серцево-судинної системи в цілому [3, 6]. Отже, проведений аналіз літератури за проблемою свідчить про нагальність розробки питань відносно гемодинаміки ВПВ, що пов'язані із життєзабезпеченням та здоров'я-збереженням організму.

**Метою нашої роботи** було з'ясувати особливості гемодинаміки верхньої порожнистої вени дорослих людей за допомогою методу ультразвукової доплерографії. Для цього вирішували завдання по:

- вивченню морфо-метричних показників ВПВ;
- визначенню фізіологічних меж швидкісних показників венозного потоку у ВПВ;
- оцінці впливу фаз дихального циклу (вдиху, видиху, апное) на швидкісні характеристики кровотоку у різних гравітаційних положеннях.

**Організація та методи дослідження.** Дослідження проводили на базі Комунального некомерційного підприємства «Черкаський обласний кардіологічний центр Черкаської обласної ради». В обстеженні взяли участь 25 практично здорових чоловіків і жінок (середній вік склав  $25,0 \pm 0,2$  років), що проходили у центрі моніторинг стану здоров'я і не мали скарг на серцеві хвороби.

Згідно мети та поставлених у роботі завдань вивчали особливості будови ВПВ методом ультразвукової доплерографії (УЗД-доплерографія). Визначення морфо-метричних показників та параметрів кровотоку у ВПВ обстежуваних проводили за допомогою апарату УЗД професійного класу Siemens Juniper Acuson (USA) із застосуванням секторного датчика в положеннях обстежуваного лежачи на спині та супінації на лівому боці. Для візуалізації ВПВ використовували супрастернальне вікно. Вимірювання діаметру (dВПВ) проводили на 1-2 см проксимальніше місця впадіння ВПВ у праве передсердя, з використанням трансторакального фазованого (секторального) датчика (2,5–5 МГц), налаштованого на глибину 10-15 см, низьким фільтром стінки та фокусом на рівні місця вимірювання. При визначенні швидкостей кровотоку використовували Doppler PRF 35 cm/s.

Протокол сканування оцінював морфо-метричні значення просвіту вени, товщини її стінки. Реєстрували пульс-хвильову доплерографію кровотоку, синхронізовану з електрокардіограмою (ЕКГ) та дихальними рухами. Записи виконували як під час спокійного дихання (фази вдиху і видиху), так і 10-секундних епізодів. Аналізували криві PW-доплерографії ВПВ. Визначали індекс колапсу ВПВ, вимірюючи її діаметр під час вдиху та видиху через надключичне вікно. Фіксували максимальний діаметр ВПВ під час видиху ( $D_{\max}$ ) та мінімальний діаметр під час вдиху ( $D_{\min}$ ). Розрахунок індексу колапсу (ІК) проводили за формулою:  $((D_{\max} - D_{\min}) / D_{\max}) * 100\%$ . Приймаємо, що високий індекс колапсу (понад 40-50%) вказує на гіповолемію, тоді як низький (20% і менше) на нормальний або підвищений тиск у правому передсерді, можливий надлишок води в організмі, гіперvoleмію та загрозу розвитку серцевої недостатності.

Систолічну функцію правого шлуночка (ПШ) вивчали за ехокардіографічним показником TAPSE (Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion / Систолічна екскурсія

трикуспідального кільця). Для цього вимірювали амплітуду зміщення фіброзного кільця трикуспідального клапана відносно верхівки серця під час систоли у М-режимі (M-mode). Датчик встановлювали в апікальній чотирикамерній позиції, а курсор режиму виставляли вздовж латеральної частини кільця трикуспідального клапана. Вимірювали зміщення кільця трикуспідального клапана в М-режимі УЗД серця від діастоли до систоли. Приймали, що нормальний показник TAPSE становить понад 17 мм. Показники, які є меншими за це значення вказують на високу ймовірність порушень скоротливої функції ПШ та можуть бути ознакою серцевої недостатності [9]. Баланс між симпатичним та парасимпатичним відділами автономної нервової системи та рівень адаптаційних можливостей організму оцінювали індексом Кердо [1, 14].

Всі дослідження проводили за особистою письмовою згодою обстежуваних у відповідності до норм біоетики та з дотриманням положень МОЗ України від 13.03.2006, № 66 і Гельсінської Декларації (1975, пізніші редакції 1996–2013 рр.). Отримані фактичні дані обробляли методом варіаційної статистики за пакетом програм Microsoft Excel 2019. За тестом Шапіро-Вілка вибірка відповідала закону нормального розподілу. Кореляційний аналіз здійснювали за Пірсоном. Достовірність змін і відмінностей між досліджуваними показниками оцінювали за t-критерієм Стюдента.

**Результати та обговорення.** Ми проаналізували середні значення діаметрів верхньої порожнистої вени (dВПВ) обстежуваних, отриманих у різних положеннях тіла та фазах дихального циклу (табл. 1).

Таблиця 1

**Показники діаметру верхньої порожнистої вени обстежуваних  
у різних положення тіла та фазах дихального циклу**

| Фази дихального циклу | Діаметр ВПВ у позиційному положенні тіла (см) |                       |
|-----------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|
|                       | лежачи на спині                               | лежачи на лівому боці |
| вдих                  | $1,41 \pm 0,12^*$                             | $1,09 \pm 0,10^*$     |
| видих                 | $1,97 \pm 0,14^\#$                            | $1,41 \pm 0,11^\#$    |
| апноє                 | $1,70 \pm 0,13$                               | $1,24 \pm 0,13^\#$    |

Примітка. \* – вірогідність відмінностей  $p < 0,05$  відносно показників під час видиху; # – вірогідність відмінностей  $p < 0,05$  відносно показників у положенні на лівому боці.

Встановлено, що показники dВПВ у положенні лежачи, не залежно від дихальної фази, здебільшого досягали 1,5 см. Максимальні значення на вдиху та видиху у цьому положенні дорівнювали, відповідно 1,6 та 1,9 см, а мінімальні сягали лише 1,37 під час вдиху та 1,49 на видиху (рис. 1).

Отже, під час інспірації, внаслідок існування негативного тиску у грудній клітці, ВПВ спадалась (колапсувала), що проявлялося зменшенням її діаметру до мінімуму. І навпаки, видих сприяв збільшенню діаметру ВПВ, який набував свого максимально можливого розміру через наповнення кров'ю з верхніх відділів тіла та відсутність опору.

Виміряні показники діаметру ВПВ у позиційному положенні на лівому боці продемонстрували схожі зміни: більші кількісні значення під час видиху та їх зменшення у фазі вдиху. Разом із тим, виявлено існування різниць між морфо-метричними показниками ВПВ залежно від позиційного положення тіла обстежуваного та фази дихального циклу. Так, зафіксований dВПВ під час фаз дихального циклу (як видиху, так і вдиху) на спині виявився достовірно більшим порівняно з показниками у положенні лежачи на лівому боці ( $p < 0,05$ ). Водночас встановлено, що незалежно від позиційного положення тіла dВПВ під час видиху був достовірно більшим порівняно фазі вдиху ( $p < 0,05$ ). Показники діаметрів ВПВ під час апноє, незалежно від позиційного положення обстежуваного займали проміжне положення між значеннями вдиху і видиху.



Рис. 1. Крива УЗД-доплерографії верхньої порожнистої вени обстежуваного А.

Відомо, що суттєвий індекс колапсу (зменшення діаметру) засвідчує існування нормального тиску у правому передсерді [2]. Згідно отриманих нами розрахунків, незалежно від позиційного положення тіла ІК коливався у широких межах від 22 до 54%. Зменшення діаметру ВПВ вказувало на засмоктування крові правим передсердям у фазу вдиху, демонструючи відносно достатній тиск та функціональний рівень серцевої діяльності. Разом з тим, низькі індивідуальні показники індексу колапсу (які не перевищували 20-24%), вказували на існування нормального або підвищеного тиску у правому передсерді. Отже, функціональні характеристики ВПВ залежали як від її діаметру, так і здатності до змін у відповідності з фазами дихального циклу: розширення під час видиху та стиснення (колапсу) при вдиху. Слід наголосити, що низький ІК міг вказувати на надлишковий об'єм рідини (гіперволемію), що може загрожувати розвитком серцевої недостатності.

Тому ми звернулись до аналізу функціональних показників центральної гемодинаміки (табл. 2).

Таблиця 2

**Показники центральної гемодинаміки обстежуваних у різних положення тіла та фазах дихального циклу**

| Показники<br>(min-max) | Позиційне положення тіла |               |                       |               |
|------------------------|--------------------------|---------------|-----------------------|---------------|
|                        | лежачи на спині          |               | лежачи на лівому боці |               |
|                        | вдих                     | видих         | вдих                  | видих         |
| ЧСС                    | 72,1 - 76,2              | 67,5 – 70,3   | 73,1 - 75,2           | 68,9 – 69,5   |
| САТ                    | 110,4 – 116,6            | 117,6 – 122,5 | 111,2 – 114,8         | 115,9 – 117,5 |
| ДАТ                    | 58,7 - 59,3              | 57,2 – 58,8   | 57,8 - 58,3           | 56,3 – 57,8   |
| УОК, мл                | 72,8 - 74,1              | 70,3 – 71,7   | 72,1 - 73,4           | 71,4 – 71,9   |
| ХОК, л                 | 5,2 - 5,5                | 4,8 – 5,1     | 4,9 - 5,1             | 4,9 – 5,0     |
| СІ, у.о.               | 3,1-3,2                  | 2,8-3,1       | 3,0-3,1               | 2,9 – 3,1     |

Як видно з таблиці, проглядались чіткі зміни ЧСС у різних фазах дихання та позиційних положеннях обстежуваного. Вони були типовими, хоч і дещо виразнішими у положенні лежачи на спині. Вдих порівняно з видихом, характеризувався дихальною аритмією: більш вищим пульсом, що демонстрував помірну тахікардію, яка розгорталась внаслідок розтягнення легеневих рецепторів та пригнічення блукаючого нерва. Водночас, зменшення тиску в грудній клітці активувало симпатичну іннервацію. Видих викликав збільшення тиску всередині грудної клітки, що стимулювало вагус і проявлялось брадикардією. Такі зміни демонстрували нормальну фізіологічну реакцію та засвідчували існування тісної взаємодії між дихальною та серцево-судинною системами.

Як відомо з літератури, динаміка артеріального тиску тісно пов'язана з внутрішньо-грудними коливаннями тиску та венозним поверненням крові до серця [2]. Виявлено, що під час вдиху, внаслідок збільшення венозного потоку до правого передсердя і короткочасного зменшення ударного об'єму лівого шлуночка, показники САТ дещо знижувалися. На видиху вони демонстрували збільшення кількісних значень, оскільки венозне повернення крові до серця ненадовго зменшувалося та поступово відновлювалося. Показники ДАТ були більш консервативними та майже не змінювалися. Отже, артеріальний тиск в різних позиційних положеннях характеризувався невеликою дихальною варіацією, що відповідало нормі.

Згідно сучасних уявлень про фізіологію гемодинаміки, дихання лежачи викликає коливання УОК та ХОК у бік зменшення під час видиху та у сторону збільшення під час вдиху [8]. Така динаміка може бути відгуком на зміни внутрішньо-грудного та внутрішньо-черевного тиску. У відповідності до механізму «дихальної помпи», який критично важливий для гемодинаміки, вдих призводить до збільшення периметру грудної клітки на фоні зменшення тиску, сприяючи венозному кровонаповненню серця. Видих, стискаючи вени, зменшує венозний потік [2]. Така фізіологія дихального акту на короткий час дещо зменшувала показники УОК в обох положеннях, демонструючи невеликі коливання. Разом із тим, показники ХОК були дещо помітнішими. Так, під час вдиху у положенні на спині було зафіксовано невелике збільшення УОК, що ймовірно, було пов'язане з кращими умовами для кровонаповнення серця, зниженням тиску в аорті і супроводжувалося, як згадувалося вище, тенденцією до інспіраторної тахікардії, що відповідає нормі. У положенні на лівому боці показники УОК та ХОК під час вдиху змінювалися ще менше.

Фаза видиху, що супроводжувалась зміщенням діафрагми догори та розслабленням міжреберних м'язів, внутрішньо-грудний тиск зростає, демонструючи зміни у бік позитивності. Венозне повернення крові до серця відповідно знижувалося внаслідок стиснення венозних судин. За цих умов у положенні обстежуваних на спині ми спостерігали невеликі зміни показників УОК у бік зменшення, адже приплив крові до правого передсердя знижувався, що узгоджувалося з експіраторною брадикардією.

Під час супінації на лівому боці відбувались аналогічні зміни, разом із тим, вони були майже не помітними, ймовірно, внаслідок менш вигідних умов для венозного повернення крові до серця і, в основному, залежали від регуляторних впливів автономної нервової системи. Отже, у горизонтальних позиційних положеннях ми спостерігали схожу динаміку з більш помітною виразністю у позиції лежачи на спині, яка характеризувалась у фазі вдиху незначними фізіологічними коливаннями УОК і ХОК у бік збільшення, а у фазі видиху несуттєвим їх зменшенням внаслідок ініційованих перебудов внутрішньо-грудного тиску та венозного повернення крові.

Під час аналізу показників СІ та пов'язаних з ним показників УОК та ХОК, ми виявили аналогічні циклічні зміни, які залежали від фаз вдиху і видиху. Фаза вдиху змінювала внутрішньо-грудний тиск на негативний, значно полегшувала наповнення правих відділів серця та збільшувала ЧСС. Фаза видиху навпаки, призводила до підвищення внутрішньо-грудного тиску, що перешкоджало вільному поверненню крові до правих відділів серця та відображалось зниженням ЧСС, УОК та ХОК. Отже, зміни СІ у позиційних положеннях відбувались у відповідності до вище згаданих процесів розподілу крові та венозного повернення, що проявлялось стимулюванням правих відділів серця у фазі вдиху.

Оскільки спостерігалась тенденція до більш виразних змін функціонування серцево-судинної системи під час фаз вдиху і видиху у позиційному положенні обстежуваних лежачи на спині ми проаналізували, як змінювались пікові швидкості прямого та зворотного кровотоку у ВПВ за цих умов (табл. 3).

З таблиці видно, що у цілому швидкісні характеристики гемодинаміки ВПВ обстежуваних характеризувалися чіткими різницями між показниками, зафіксованими у фазах вдиху і видиху, а також апное. Кількісні значення систолічної пікової швидкості під час вдиху були достовірно вищими відносно тих, що відповідали діастолі серця у цій фазі дихання ( $p < 0,05$ ). Схожі закономірності прослідковувалися і під час фази видиху та апное, де систолічні показники пікової швидкості переважали кількісні значення діастолічних.



Таблиця 3

**Середні показники пікової швидкості прямого та зворотного кровотоку  
у верхній порожнистій вені обстежуваних (M±m)**

| Фази серцевого циклу               | Фази дихання          |                         |                         |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                    | вдих                  | видих                   | апноє                   |
| систола QRS-T                      | 53,9±2,0 <sup>#</sup> | 42,8±1,7 <sup>^#</sup>  | 45,7 ±1,8 <sup>*#</sup> |
| діастола рання Т-Р                 | 33,6 ± 1,9            | 22,2 ± 1,8 <sup>^</sup> | 27,1 ± 1,6 <sup>*</sup> |
| діастола пізня Р-QRS (відновлення) | 20,8 ± 1,7            | 18,1 ± 1,3              | 19,2 ± 1,4              |

Примітка. \* – достовірність різниць  $p < 0,05$  відносно показників вдиху, ^ – показників видиху та апноє, # – показників діастоли; QRS- комплекс ЕКГ, Т та Р- зубці ЕКГ.

Привертають увагу пікові швидкості, встановлені під час систоли і діастоли серця у фазі вдиху, які виявилися достовірно вищими відносно таких як у фазі видиху, так і апноє ( $p < 0,05$ ). Найнижчими у ВПВ піковими швидкостями виглядали ті, що були зафіксовані у фазі видиху. Порівняно із систолічними, показники пікової швидкості кровотоку зменшились під час видиху на 26,2 %, а відносно апноє відсоток зниження коливався у межах 15,3 %.

Отже, встановлено, що кровотік у ВПВ характеризувався переважанням систолічних пікових швидкостей над діастолічними. Водночас, дихальна модуляція пікових швидкостей проявлялась переважанням систолічних і діастолічних пікових швидкостей у фазі вдиху над такими у фазі видиху та апноє. Можемо констатувати, що вивчення швидкостей кровотоку у ВПВ методом УЗД з доплерографією є інформативним засобом, що надає детальну інформацію стосовно особливостей венозної гемодинаміки у різні фази дихального циклу.

У відповідності до поставлених завдань по вивченню морфологічних та функціональних показників забезпечення роботи правих відділів серця у різних проєкційних положеннях та фазах дихання ми проаналізували систолічну функцію правого шлуночка (ПШ) за екскурсією трикуспідального клапану, скориставшись ехокардіографічним показником TAPSE. Виходили з того, що цей показник вимірює амплітуду зміщення фіброзного кільця клапана відносно верхівки серця під час систоли та відображає спроможність ПШ забезпечувати функціонування малого кола кровообігу та обмін дихальних газів у легенях. Враховували, що ПШ отримує значну частку крові з порожнистих вен (з ВПВ може бути понад 50% від загального об'єму, оскільки отримує кров від великої ділянки тіла) [11]. Результати проведеного аналізу за показником TAPSE показані на рис. 2.

Як видно з рисунку, показники TAPSE в обох проєкційних положеннях тіла та фазах дихання перебували у межах норми, але характеризувались значною варіативністю. Трохи кращим показник TAPSE виявився у положенні на спині, що можливо пов'язано з більш вигідним позиційним положенням тіла обстежуваних, яке створювало більш оптимальне для венозного відтоку крові до серця середовище порівняно з положенням лежачі на лівому боці.

Водночас, індивідуальний аналіз показників обстежуваних виявив у деяких з них тенденцію зниження, особливо у тих, у кого за діаметром ВПВ та піковою швидкістю під час вдиху і видиху кількісні значення перебували на нижній межі норми. Цікавим є те, що такі обстежувані характеризувались показником TAPSE, що був на 12,7 - 14,5% нижчим порівняно допустимої норми. Не виключено, що таке зниження амплітуди може говорити про існування ризику недостатності прокачування крові по малому колу кровообігу. Можна припустити, що виявлені у цих обстежуваних вузький діаметр ВПВ сприяв зменшенню швидкості відтоку крові до серця та у ПШ, що знижувало спроможність доставки крові у легеневе коло кровообігу та демонструвало низьку продуктивність такого варіанту кровотоку. Ймовірно, що у цьому разі фракція викиду ПШ може виявлятися зниженою. На такі випадки вказують дані і інших авторів, які проводили схожі дослідження, але радіоізотопними та MPT методами [16]. Разом із тим, наші результати не можуть вважатися цілком вичерпними, оскільки потребують подальшого вивчення та накопичення ширшої бази фактичних даних.

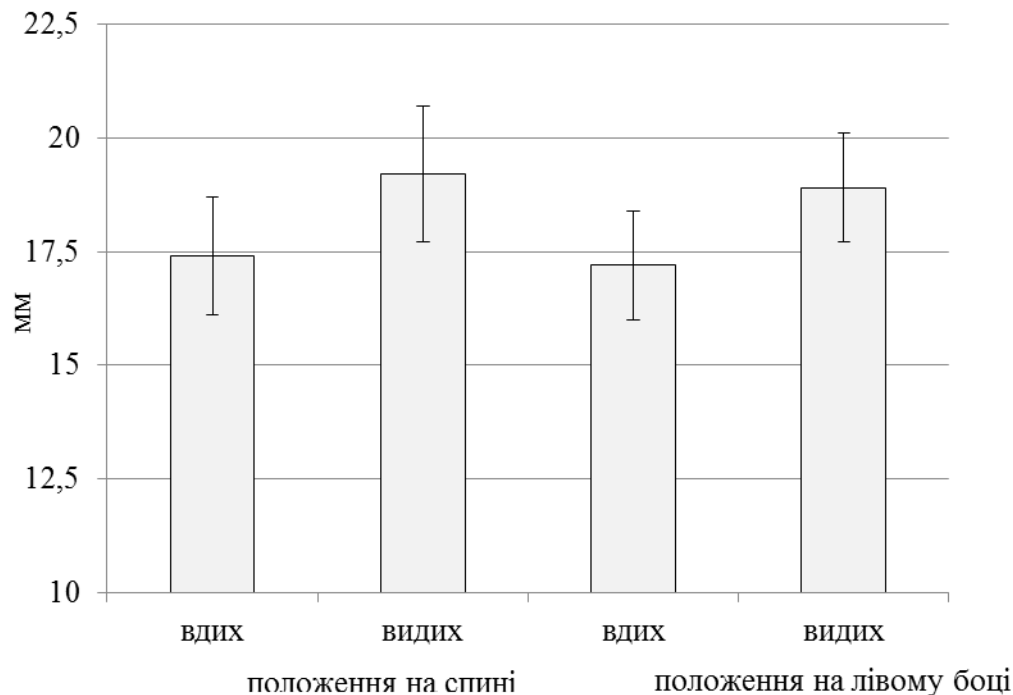


Рис. 2. Динаміка ехокардіографічного показника TAPSE під час фаз дихального циклу у різних проекційних положеннях обстежуваних.

Розглядаючи зміни показників гемодинаміки у різні фази дихання, слід підкреслити на існуванні тісного зв'язку між функцією дихання та вегето-судинною рівновагою. Адже як серцева, так і дихальна системи отримують потужні регуляторні впливи з боку автономної нервової системи (АНС) [2]. Для оцінки балансу між симпатичним та парасимпатичним відділами АНС обстежуваних, загального адаптаційного потенціалу та впливу на гемодинаміку ВПВ у положенні обстежуваного лежачи на спині, ми проаналізували показники індексу Кердо.

Виявилось, що біля 50% обстежених характеризувались домінуванням симпатичної нервової системи. У 25% обстежуваних встановлено переважання парасимпатичного відділу АНС. Осіб з відносно гармонійним балансом АНС також виявилось  $\frac{1}{4}$  від загальної кількості обстежуваних. Застосований нами кореляційний аналіз між діаметром вени та індексом Кердо встановив існування зворотного зв'язку, який вказував: чим вужчим був діаметр вени, тим більшою ставала ймовірність домінування симпатичного відділу АНС в управлінні серцевою діяльністю, що чинило вплив на гемодинаміку ВПВ у даному проекційному положенні тіла ( $p < 0,05$ ).

Таким чином, вивчення гемодинаміки верхньої порожнистої вени дорослих людей за допомогою методу УЗД - доплерографії дозволив виявити ряд важливих морфо-метричних та функціональних особливостей, які можуть бути корисними у фізіологічній та медичній практиці.

### Висновки.

1. Виявлено достовірні відмінності морфо-метричних показників верхньої порожнистої вени, зафіксованих у різних фазах дихального циклу та проекційних положеннях тіла. Морфо-функціональні характеристики верхньої порожнистої вени залежали як від діаметру судини, так і її здатності до змін у відповідності з фазами дихального циклу: стискатися (колапс) під час вдиху та розширюватися при видиху.

2. Позиційне розташування тіла впливало на зміни діаметру верхньої порожнистої вени, обумовлюючи ступінь її спадання, що відображало тенденцію до більш виразного у положенні на спині.

3. Кровотік верхньої порожнистої вени характеризувався переважанням систолічних пікових швидкостей над діастолічними. Дихальна модуляція пікових швидкостей

проявлялась переважанням систолічних і діастолічних пікових швидкостей у фазі вдиху над такими ж у фазі видиху та апное.

4. Встановлена більш помітна варіативність показників центральної гемодинаміки під час дихального циклу у проекційному положенні лежачи на спині.

5. Виявлено тенденцію до зниження функціональної спроможності правого шлуночка серця за ехокардіографічним показником екскурсії трикуспідального клапану у обстежуваних, які мали нижню межу норми за діаметром верхньої порожнистої вени та невисокі пікові швидкості кровотоку під час вдиху і видиху.

6. Виявлено зворотній зв'язок між діаметром верхньої порожнистої вени та домінуванням симпатичного відділу автономної нервової системи в управлінні серцевою діяльністю, що проявлялось у гемодинаміці верхньої порожнистої вени у положенні лежачи обстежуваного на спині.

**Перспективи подальших досліджень.** Подальша розробка тематики впливу фаз дихання на кровообіг порожнистих вен планується у розрізі вивчення вікових, статевих та індивідуальних особливостей гемодинаміки.

#### Список використаної літератури

1. Афанасьєва О.В., Євдокімов Є.І. Застосування індексу Кердо в практиці фізичного реабілітолога. Проблеми фізичного виховання і спорту. – 2011. – № 4. – С. 23-26.
2. Григорова І. А., Соколова Л. І., Герасимчук Р. Д. та ін. Неврологія : нац. підруч. для студ. вищ. мед. нав. закл. IV рівня акредитації. - К. : ВСВ Медицина, 2014. - 640 с.
3. Йовенко І. А., Кобеляцький Ю. Ю., Царьов А. В. і ін. Гемодинамічний моніторинг в практиці інтенсивної терапії критичних станів // Медицина невідкл. станів. – 2016. – № 5. – С. 42–46.
4. Козьолкін О. А., Ревенько А. В., Медведкова С. О., Кузнецов А. А. Судинні захворювання головного та спинного мозку (діагностика, лікування та профілактика) : навч.-метод. посіб. для лікарів-інтернів неврологів, терапевтів, сімейних лікарів. – Запоріжжя : ЗДМУ, 2017. - 120с.
5. Красносельський М. В., Крутько Є. М., Пилипенко С. А. Діагностика та інтенсивна терапія порушень нейро-кардіо-гемодинаміки у онкологічних хворих з синдромом верхньої порожнистої вени. – Харків: ІМР, 2019. – 119 с.
6. Стаднік С. М. Гостра ішемія мозку в клініці кардіологічної реанімації та інтенсивної терапії: фактори розвитку, прояви, наслідки та застосування нейропротективної терапії: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15; Нац. мед. акад. післядиплом. освіти ім. П.Л. Шупика. К., 2012. – 20 с.
7. Фадєєв П. О. Інсульт. - Т. : Навч. кн. - Богдан, 2011. - 159 с.
8. Ali N., Tan A., Chenkin J. From compression to diagnosis: identification of superior vena cava syndrome using point-of-care ultrasound in the emergency department. International Journal of Emergency Medicine. (2024). <https://doi.org/10.1186/s12245-024-00597-2>.
9. Azizi A. H., Shafi I., Shah N., Rosenfield K., Schainfeld R., Sista A., Bashir R. Superior vena cava syndrome. Cardiovasc Interv. 2020;13(24):2896–910.
10. Birch A, Um D, Laselle B. Ultrasound detection of superior vena cava thrombus. Western Journal of Emergency Medicine. 2014;15(6):715.
11. Blanco P., Esteban F., Leonardi I. Superior vena cava obstruction and mediastinal mass detected by point-of-care ultrasonography. J Clin Ultrasound. 2020;48:569–73. <https://doi.org/10.1002/jcu.22847>.
12. Gupta A., Kim D. N., Kalva S., Reznik S., Johnson D. H. Superior Vena Cava Syndrome. In Abelloff's Clin Oncol. 2020 ;775–85. Elsevier.
13. Hou J., Zhang J., Ma M., Gong Z, Xu B., Shi Z. Thrombotic risk factors in patients with superior vena cava syndrome undergoing chemotherapy via femoral inserted central catheter. Thromb Res. 2019;1(184):38–43.
14. Kérdő I. Ein aus Daten der Blutzirkulation kalkulierter Index zur Beurteilung der vegetativen Tonuslage // Acta neurovegetativa. — 1966. — Bd. 29. — № 2. — S. 250—268.
15. Pilipenko S. Changes in cardiohemodynamic indicators of oncological patients with superior vena cava syndrome. EMERGENCY MEDICINE, (2018). (1.88), 122–126. <https://doi.org/10.22141/2224-0586.1.88.2018.124978>.
16. Tan G., Ng M. Emergency department point-of-care ultrasound for upper extremity deep venous thrombosis ED POCUS for upper extremity DVT. Int J Emerg Med. 2021;14:1–4.
17. Whitson M. R., Mayo P. H. Ultrasonography in the emergency department. Crit Care. 2016;20:1–8.
18. Zimmerman S., Davis M. Rapid fire: superior vena cava syndrome. Emerg Med Clin. 2018;36(3):577–84.

#### References

1. Afanasieva, O. V., & Evdokimov, Y. I. (2011). Zastosuvannia indeksu Kerdo v praktytsi fizychnoho rehabilitoloha [Application of the Kerdo index in the practice of a physical rehabilitation specialist]. Problemy fizychnoho vykhovannia i sportu, (4), 23-26. (In Ukrainian).

2. Hryhorova, I. A., & Sokolova, L. I. (Eds.). (2014). *Nevrologiia: nats. pidruch. dlia stud. vyshch. med. navch. zakl. IV riv. akred.* [Neurology: National textbook for students of higher medical educational institutions, IV level of accreditation]. Kyiv, Ukraine: VSV Medytsyna. 640 pp. (In Ukrainian).
3. Yovenko, I. A., Kobeliatskyi, Y. Y., Tsarov, A. V., et al. (2016). Hemodynamic monitoring in intensive care practice of critical conditions [Hemodynamichnyi monitorynh v praktytsi intensyvnoi terapii krytychnikh staniv]. *Medytsyna nevidkladnykh stsev*, (5), 42-46. (Article in Ukrainian).
4. Kozelkin, O. A., Revenko, A. V., Medvedkova, S. O., & Kuznetsov, A. A. (2017). *Sudynni zakhvoriuvannia holovnoho ta spynnoho mozku (diahnostyka, likuvannia ta profylaktyka)* [Vascular diseases of the brain and spinal cord (diagnosis, treatment, and prevention): Educational-methodical manual for intern physicians — neurologists, therapists, family physicians] [in Ukrainian]. Zaporizhzhia, Ukraine: Zaporizhzhia State Medical University (ZDMU).
5. Krasnoselsky, M. V., Krutko, Y. M., & Pilipenko, S. A. (2019). *Diahnostyka ta intensyvna terapiia porushen' neuro-kardio-hemodynamiky u onkologichnykh khvorykh z syndromom verkhnoi porozhnystoi viny* [Diagnosis and intensive therapy of neuro-cardiovascular hemodynamic disorders in oncological patients with superior vena cava syndrome]. Kharkiv, Ukraine: IMR. (Book in Ukrainian).
6. Stadnik, S. M. (2012). *Hostra ishemiia mozku v klinitsi kardioholohichnoi reanimatsii ta intensyvnoi terapii: faktory rozvytku, proiavy, naslidky ta zastosuvannia neiroprotektivnoi terapii* [Acute cerebral ischemia in the clinic of cardiologic resuscitation and intensive therapy: development factors, manifestations, consequences, and application of neuroprotective therapy] [Author's abstract of candidate dissertation]. National Medical Academy of Postgraduate Education named after P. L. Shupyk, Kyiv, Ukraine. (Dissertation abstract in Ukrainian).
7. Fadeyev, P. O. (2011). *Insult [Stroke]*. Ternopil, Ukraine: Navchalna knyha–Bohdan. (Book in Ukrainian).
8. Ali, N., Tan, A., & Chenkin, J. (2024). From compression to diagnosis: Identification of superior vena cava syndrome using point-of-care ultrasound in the emergency department. *International Journal of Emergency Medicine*. <https://doi.org/10.1186/s12245-024-00597-2>.
9. Azizi, A. H., Shafi, I., Shah, N., Rosenfield, K., Schainfeld, R., Sista, A., & Bashir, R. (2020). Superior vena cava syndrome. *Cardiovasc Interv*, 13(24), 2896-2910.
10. Birch, A., Um, D., & Laselle, B. (2014). Ultrasound detection of superior vena cava thrombus. *Western Journal of Emergency Medicine*, 15(6), 715.
11. Blanco, P., Esteban, F., & Leonardi, I. (2020). Superior vena cava obstruction and mediastinal mass detected by point-of-care ultrasonography. *Journal of Clinical Ultrasound*, 48, 569–573. <https://doi.org/10.1002/jcu.22847>.
12. Gupta, A., Kim, D. N., Kalva, S., Reznik, S., & Johnson, D. H. (2020). Superior vena cava syndrome. In *Abeloff's Clinical Oncology* (pp. 775-785). Elsevier.
13. Hou, J., Zhang, J., Ma, M., Gong, Z., Xu, B., & Shi, Z. (2019). Thrombotic risk factors in patients with superior vena cava syndrome undergoing chemotherapy via femoral inserted central catheter. *Thrombosis Research*, 184, 38-43.
14. Kérdő, I. (1966). Ein aus Daten der Blutzirkulation kalkulierter Index zur Beurteilung der vegetativen Tonuslage [An index calculated from blood circulation data to assess vegetative (autonomic) tone]. *Acta Neurovegetativa*, 29(2), 250-268. (Article in German).
15. Pilipenko, S. (2018). Changes in cardiohemodynamic indicators of oncological patients with superior vena cava syndrome. *Emergency Medicine*, (1.88), 122-126. <https://doi.org/10.22141/2224-0586.1.88.2018.124978>.
16. Tan, G., & Ng, M. (2021). Emergency department point-of-care ultrasound for upper extremity deep venous thrombosis (ED POCUS for upper extremity DVT). *International Journal of Emergency Medicine*, 14, 1-4.
17. Whitson, M. R., & Mayo, P. H. (2016). Ultrasonography in the emergency department. *Critical Care*, 20, 1–8.
18. Zimmerman, S., & Davis, M. (2018). Rapid fire: Superior vena cava syndrome. *Emergency Medicine Clinics*, 36(3), 577-584. Zimmerman S, Davis M. Rapid fire: superior vena cava syndrome. *Emerg Med Clin*. 2018;36(3):577-84.

**Liliia Yukhymenko, Volodymyr Kozak**

# **CHARACTERISTICS OF HEMODYNAMICS OF THE SUPERIOR VENA CAVA DURING THE RESPIRATORY CYCLE IN DIFFERENT PROJECTED BODY POSITIONS**

**Introduction.** *Studying the effect of respiratory modulation on the haemodynamics of the superior vena cava (SVC) in different body positions makes it possible to reveal the role of the respiratory cycle in venous return of blood to the heart, blood flow dynamics in the vessel, and central haemodynamic reactivity. Inhalation and exhalation, like the projection of the body in space, are powerful regulators of cardiovascular activity. The use of the ultrasound method to assess SVC haemodynamics in different body positions and respiratory phases creates opportunities for in-depth study of the course of physiological processes in normal and pathological conditions.*

**Objective.** The aim of our study was to determine the characteristics of haemodynamics in the superior vena cava of adults using ultrasound Doppler imaging.

**Methods of the study.** We examined 25 practically healthy volunteers of both sexes aged 19-27 years. We performed ultrasound Doppler assessment of the morphometric parameters of the SVC, functional characteristics of blood flow in the SVC, and parameters of central haemodynamics. Haemodynamics were analysed in different phases of respiration and projection positions (horizontally on the back and supination on the left side) using a Siemens Juniper Acuson (USA) device. The actual data obtained were processed using the method of variational statistics with the Microsoft Excel 2019 software package.

**Main results of the study.** Significant differences in the morphometric parameters of the SVC recorded in different phases of the respiratory cycle and positions were found. The functional characteristics of the SVC depended on both the diameter of the vessel and its ability to change in accordance with the phases of the respiratory cycle. More noticeable variability in central haemodynamic parameters was found in the supine position. Regardless of the respiratory phase and body position, blood flow in the SVC was characterised by a predominance of systolic peak velocities over diastolic ones. Respiratory modulation of peak velocities manifested itself in the predominance of systolic and diastolic peak velocities in the inspiratory phase over those in the expiratory phase and apnoea.

**Scientific novelty of the study results.** A tendency towards a decrease in the functional capacity of the right ventricle of the heart was established in the examined patients, who had the lower limit of the norm for the SVC diameter and low peak blood flow velocities during inhalation and exhalation. An inverse relationship was found between SVC and the dominance of the sympathetic division of the autonomic nervous system in the control of cardiac activity.

**Conclusions and specific suggestions of the author.** The study of morphometric indicators and blood flow velocities in the SVC using ultrasound with Doppler imaging opens up new opportunities for understanding the characteristics of venous haemodynamics in different phases of the respiratory cycle, which will contribute to a deeper understanding of the physiological mechanisms of the cardio-respiratory system and may be useful in the early diagnosis of risks of developing heart failure.

**Keywords:** hemodynamics, superior vena cava, breathing, body position.

Надійшла до редакції / Received: 08.12.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.12.2025

## СВІТЛОЇ ПАМ'ЯТІ ПРОФЕСОРА ФЕДОРА БОЄЧКА



Боєчко Федір Федорович (13.05.1934 – 6.09.2025) – український біохімік, доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, ректор Уманського педагогічного інституту та Черкаського державного педагогічного інституту, Заслужений працівник вищої школи України, член редакційної колегії збірника наукових праць «Вісник Черкаського університету (Серія «Біологічні науки») Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького», член Українського біохімічного товариства.

Кандидатську дисертацію захистив у 1961 році в Київському державному університеті ім. Т. Г. Шевченка.

Її тематика була пов'язана з дослідженням впливу вітамінів і мікроелементів на обмінні процеси в організмі людини і тварин. Науковий керівник – доктор біологічних наук, професор К. М. Леутський. Дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук на тему: «Вивчення ролі мікроелементів (кобальту, марганцю і олова) в ліпідному обміні» захистив у 1974 році в Інституті біохімії імені О. В. Палладіна НАН України. У 1976 р. отримав учене звання професора. З 1994 р. обраний членом-кореспондентом Національної академії педагогічних наук України.

Працював в Уманському педагогічному інституті (1960-1979), де протягом 1964–1969 рр. був проректором, а у 1975-1979 рр. – ректором цього закладу. З 1979 до 2000 працював ректором Черкаського педагогічного інституту, який у 1995 р. отримав статус державного університету з присвоєнням імені Богдана Хмельницького. У 1998 році очолив новостворену кафедру біохімії та фізіології.

До кола наукових інтересів входило вивчення впливу вітамінів, мікроелементів і їх комплексів на обмінні процеси в організмі та його імунізаційні функції в нормальних умовах та за умов дії малих доз іонізуючої радіації.

Автор близько 200 наукових праць, серед яких – понад 20 підручників і посібників для студентів закладів вищої освіти, училищ, учителів та учнів шкіл. Разом із групою колег розробив, апробував і запатентував спосіб реабілітації функцій імунної системи в осіб, що зазнали впливу факторів аварії на Чорнобильській АЕС.

Зробив вагомий внесок у розвиток матеріальної бази та підвищення якості підготовки фахівців-біологів у Черкаському національному університеті імені Богдана Хмельницького, а також розвиток біохімічних досліджень в Україні. Підготував два кандидати наук.

Федір Федорович Боєчко запам'ятався колегам як справедливий, порядний та інтелігентний керівник. Виваженість у прийнятті рішень, толерантність до викладачів і студентів були характерними його рисами. Науковий і життєвий шлях Ф. Ф. Боєчка є прикладом для наслідування та підростаючого покоління.

**V. S. Lizohub, M.N. Gavrilyuk**

**IN MEMORY PROFESSOR FEDIR BOYECHKO**

*The article is devoted to memory of famous biochemist and educator, professor Fedir Boyechko. His scientific and life path is an example for imitation.*

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Артеменко Богдан Олександрович** – кандидат біологічних наук, старший викладач, кафедра спортивних ігор, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Безкопильний Олександр Олександрович** – доктор педагогічних наук, професор, кафедра теорії, методики фізичного виховання, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Гаврилюк Максим Никандрович** – кандидат біологічних наук, доцент, директор навчально-наукового інституту природничих та аграрних наук, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Григорова Наталя Володимирівна** – кандидат біологічних наук, доцент, кафедра фізіології, імунології і біохімії з курсом цивільного захисту та медицини біологічного факультету, Запорізький національний університет

**Дзюник Іван Сергійович** – аспірант, кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Завгородній Микола Олегович** – доктор філософії (біологія), м.н.с., Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, Міжнародний центр астрономічних, медичних та екологічних досліджень (ICAMER) НАН України, Київ

**Коваленко Станіслав Олександрович** – доктор біологічних наук, професор, кафедра спортивних дисциплін, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Коваль Катерина Генадіївна** – аспірант, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Коваль Юлія Віталіївна** – викладач, науковий співробітник, кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Науково-дослідний інститут фізіології ім. М. Босого, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Кожемяко Тетяна Володимирівна** – кандидат біологічних наук, доцент, кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Козак Володимир Вікторович** – аспірант, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Лавріненко Катерина Валеріївна** – доктор філософії в галузі біології, викладач, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Лизогуб Володимир Сергійович** – доктор біологічних наук, професор, директор Науково-дослідного інституту фізіології ім. М. Босого, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Лисенко Роман Володимирович** – Інститут зоології імені І. І. Шмальгаузена НАН України

**Лук'янцева Галина Володимирівна** – доктор біологічних наук, професор, кафедра медичної біології та спортивної дієтології, Національний університет фізичного виховання і спорту України

**Носар Валентина Іванівна** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України

**Портніченко Володимир Ілліч** – доктор медичних наук, завідувач відділом клінічної фізіології сполучної тканини Інституту фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, Міжнародний центр астрономічних, медичних та екологічних досліджень (ICAMER) НАН України, Київ

**Пустовалов Віталій Олександрович** – кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент, кафедра спортивних ігор, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Світлова Олена Дмитрівна** – кандидат біологічних наук, доцент, кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Сич Ігор Олександрович** – аспірант, кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Сіпко Людмила Олександрівна** – кандидат педагогічних наук, доцент, кафедра педагогіки і психології, Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

**Сойніков Ярослав Ігорович** – аспірант, кафедра медичної біології та спортивної дієтології, Національний університет фізичного виховання і спорту України

**Спрягайло Оксана Анатоліївна** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Спрягайло Олександр Васильович** – кандидат біологічних наук, доцент, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Хоменко Сергій Миколайович** – кандидат біологічних наук, доцент, кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Цапенко Петро Костянтинович** – кандидат біологічних наук, науковий співробітник, Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, Міжнародний центр астрономічних, медичних та екологічних досліджень (ICAMER) НАН України, Київ



## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Артеменко Б. О., Лизогуб В. С., Хоменко С. М., Пустовалов В. О.,<br/>Кожемяко Т. В.</b><br>ОЦІНКА ВПЛИВУ ІНДИВІДУАЛЬНО-ТИПОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ<br>НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ НА ФОРМУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ІГРОВОГО<br>МИСЛЕННЯ У ВОЛЕЙБОЛІСТІВ РІЗНОГО ВІКУ МЕТОДОМ ГРУПОВОГО<br>УРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ ..... | 4   |
| <b>Григорова Н. В.</b><br>ВПЛИВ АДАПТИВНИХ ГОРМОНІВ НА СТАН КЛІТИН ПАНЕТА ТВАРИН З<br>АЛОКСАНОВИМ ДІАБЕТОМ.....                                                                                                                                                                                       | 14  |
| <b>Завгородній М. О., Цапенко П. К., Носар В. І., Портніченко В. І.</b><br>ОКИСЛЮВАЛЬНА ФУНКЦІЯ МІТОХОНДРІЙ ПЕЧІНКИ ЩУРІВ ПІД ЧАС<br>ГОСТРОЇ ГІПЕРОКСІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ.....                                                                                                                           | 23  |
| <b>Коваленко С. О., Дзюник І. С., Сич І. О., Циганник Р. А.</b><br>ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ СЕРЦЕВОГО РИТМУ ПРИ ТИМЧАСОВІЙ ОКЛЮЗІЇ<br>НИЖНІХ КІНЦІВОК У АТЛЕТІВ .....                                                                                                                                           | 31  |
| <b>Коваль К. Г., Хоменко С. М., Юхименко Л. І.</b><br>ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РІВНІВ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОЇ АДАПТАЦІЇ<br>СТУДЕНТСЬКОЇ МОЛОДІ УКРАЇНИ ТА ІСПАНІЇ .....                                                                                                                                         | 38  |
| <b>Лизогуб В.С., Коваль Ю.В., Безкопильний О.О., Кожемяко Т.В., Спрягайло О.В.</b><br>ВЗАЄМОДІЯ МОТОРНИХ ТА КОГНІТИВНИХ СИСТЕМ МОЗКУ У ОСІБ З<br>ДЕПРИВАЦІЄЮ СЛУХОВОЇ ФУНКЦІЇ .....                                                                                                                   | 49  |
| <b>Світлова О. Д., Сіпко Л. О.</b><br>ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ РУХОВИХ НАВИЧОК ДІТЕЙ МОЛОДШОГО<br>ШКІЛЬНОГО ВІКУ З ПОРУШЕННЯМИ ЗДОРОВ'Я .....                                                                                                                                                             | 61  |
| <b>Сойніков Я. І., Лук'янцева Г. В.</b><br>РЕАКТИВНІ ТА АДАПТИВНІ ЗМІНИ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ<br>ЧОЛОВІКІВ У ВІДПОВІДЬ НА РІЗНІ ВИДИ ФІЗИЧНИХ ВПРАВ:<br>ФІЗІОЛОГІЧНИЙ ТА ТРЕНУВАЛЬНИЙ КОНТЕКСТ .....                                                                                               | 70  |
| <b>Шевчик В. Л., Спрягайло О. А., Спрягайло О. В., Лавріненко К.В.,<br/>Лисенко Р. В.</b><br>НОВІ ЗНАХІДКИ ЛІСОВИХ ОРХІДЕЙ НА ТЕРИТОРІЇ ПРОЄКТОВАНОГО<br>НПП «ІРДИНСЬКЕ БОЛОТО» .....                                                                                                                 | 88  |
| <b>Юхименко Л. І., Козак В. В.</b><br>ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕМОДИНАМІКИ ВЕРХНЬОЇ<br>ПОРОЖНИСТОЇ ВЕНИ ПІД ЧАС ДИХАЛЬНОГО ЦИКЛУ<br>У РІЗНИХ ПРОЕКЦІЙНИХ ПОЛОЖЕННЯХ ТІЛА .....                                                                                                                                 | 98  |
| СВІТЛОЇ ПАМ'ЯТІ ПРОФЕСОРА ФЕДОРА БОЄЧКА .....                                                                                                                                                                                                                                                         | 110 |
| Відомості про авторів .....                                                                                                                                                                                                                                                                           | 112 |

## CONTENT

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Artemenko B. O. , Lyzohub V. S. , Khomenko S. M. , Pustovalov V. O. , Kozhemyako T. V.</b><br>ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF INDIVIDUAL -TYPOLOGICAL<br>PROPERTIES OF THE NERVOUS SYSTEM ON THE FORMATION OF<br>SPECIAL GAME THINKING IN VOLLEYBALL PLAYERS OF DIFFERENT<br>AGES BY THE METHOD OF GROUP CONSIDERATION OF ARGUMENTS<br>MENTORS ..... | 4   |
| <b>Hryhorova N. V.</b><br>THE INFLUENCE OF ADAPTIVE HORMONES ON THE STATE OF PANETH<br>CELLS OF ANIMALS WITH ALLOXAN DIABETES.....                                                                                                                                                                                                                     | 14  |
| <b>Zavhorodnii M. O., Nosar V. I., Tsapenko P. K., Portnichenko V. I.</b><br>OXIDATIVE FUNCTION OF RAT LIVER MITOCHONDRIA DURING ACUTE<br>HYPEROXIA AND RECOVERY .....                                                                                                                                                                                 | 23  |
| <b>Kovalenko S., Dziunyk I., Sych I., Tsyhannyk R.</b><br>HEART RATE VARIABILITY DURING TEMPORARY OCCLUSION OF THE<br>LOWER EXTREMITIES IN ATHLETES .....                                                                                                                                                                                              | 31  |
| <b>Koval K. H., Khomenko S. M., Yukhymenko L. I.</b><br>COMPARATIVE ANALYSIS OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL ADAPTATION<br>LEVELS AMONG UKRAINIAN AND SPANISH STUDENT YOUTH .....                                                                                                                                                                               | 38  |
| <b>Lyzohub V. S., Koval Y. V., Bezkoptylny O. O., Kozhemiako T.V.</b><br>INTERACTION BETWEEN MOTOR AND COGNITIVE BRAIN SYSTEMS IN<br>PERSONS WITH HEARING DEPRIVATION .....                                                                                                                                                                            | 49  |
| <b>Svietlova O. D., Sipko L. O.</b><br>FEATURES OF MOTOR SKILLS DEVELOPMENT IN PRIMARY SCHOOL<br>CHILDREN WITH HEALTH DISORDERS .....                                                                                                                                                                                                                  | 61  |
| <b>Soynikov Y. I., Lukyantseva H. V.</b><br>REACTIVE AND ADAPTIVE CHANGES OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM IN<br>MEN IN RESPONSE TO DIFFERENT TYPES OF PHYSICAL EXERCISE:<br>PHYSIOLOGICAL AND TRAINING CONTEXT .....                                                                                                                                      | 70  |
| <b>Shevchyk V. L., Spriahailo O. A., Spriahailo O. V., Lavrinenko K. V., Lysenko R. V.</b><br>NEW RECORDS OF FOREST ORCHIDS IN THE TERRITORY OF THE PROPOSED<br>«IRDYNSKE MARSH» NATIONAL NATURE PARK .....                                                                                                                                            | 88  |
| <b>Liliia Yukhymenko, Volodymyr Kozak</b><br>CHARACTERISTICS OF HEMODYNAMICS OF THE SUPERIOR VENA CAVA<br>DURING THE RESPIRATORY CYCLE IN DIFFERENT PROJECTED BODY<br>POSITIONS .....                                                                                                                                                                  | 98  |
| IN MEMORY PROFESSOR FEDIR BOYECHKO .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 110 |
| Information about the authors .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 112 |

**ВІСНИК  
ЧЕРКАСЬКОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ**

Серія біологічні науки  
№ 2. 2025

Відповідальний за випуск  
*Лизогуб В. С.*

Відповідальний секретар  
*Світлова О. Д.*

Комп'ютерне верстання  
*Любченко Л. Г.*

Підписано до друку 23.12.2025.  
Формат 84x108/16. Папір офсет. Друк офсет. Гарнітура Times New Roman.  
Умовн. друк. арк. 10,9. Обл. вид. арк. 11,1.  
Замовлення № 118. Тираж 300 прим.