УДК 612.13:616.839
DOI https://doi.org/10.32782/2786-7684/2025-2-23

Івасенко Артур Юрійович,
аспірант кафедри біології,
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
ORCID ID: 0000-0003-2073-5621
м. Ніжин, Україна

Переходько Костянтин Миколайович,
аспірант кафедри біології,
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
ORCID ID: 0000-0001-5756-5342
м. Ніжин, Україна

Особливості адаптаційних механізмів серцево-судинної системи на тлі набутої короткозорості

Вступ. Набута короткозорість є однією з найпоширеніших рефракційних аномалій сучасного суспільства, і кількість випадків продовжує зростати в глобальному масштабі з кожним роком. Різноманітні чинники, такі як тривале зорове навантаження, недостатня фізична активність, неправильне освітлення, а також генетична схильність, відіграють роль у її виникненні та прогресуванні. У зв'язку з цим дослідження системних змін в організмі, зокрема адаптаційних механізмів серцево-судинної системи при короткозорості, є актуальним.

Мета дослідження. Проведення комплексного аналізу гемодинамічних показників, які характеризують функціональні зміни в серцево-судинній системі, в тому числі й адаптаційного потенціалу, в осіб з набутою короткозорістю.

Матеріали та методи. Дослідження проведено серед 146 добровольців віком 18-35 років, розподілених на контрольну групу та групу осіб з набутою короткозорістю різного ступеня. Було проведено клініко-функціональне обстеження серцево-судинної системи, визначено основні гемодинамічні параметри та здійснено розрахунок і порівняння показників функціонального стану обох груп.

Результати досліджень та їх обговорення. У осіб із короткозорістю виявлено достовірне підвищення систолічного артеріального тиску, коефіцієнта економічності кровообігу, індексу Робінсона та адаптаційного потенціалу. Спостерігалося збільшення показників частоти серцевих скорочень, діастолічного та пульсового артеріального тиску, систолічного та хвилинного об'єму крові, потужності роботи лівого шлуночка, систолічного показника, коефіцієнтів функціонального стану системи кровообігу та стану кардіореспіраторної системи, вегетативного індексу Кердо, серцевого та ударного індексів. Простежувалося зниження значень об'єму серця, коефіцієнта Хільденбранта, загального та питомого периферичного опору.

Висновки. Набута короткозорість супроводжується системними функціональними змінами серцево-судинної системи, які мають компенсаторний характер і можуть бути відображенням адаптивної відповіді організму на навантаження зорового аналізатора.

Ключові слова: короткозорість, серцево-судинна система, гемодинаміка, адаптаційний потенціал.

Ivashenko Artur Yuriiovych, Postgraduate Student at the Department of Biology, Nizhyn Mykola Gogol State University, ORCID ID: 0000-0003-2073-562, Nizhyn, Ukraine

Perekhodko Kostiantyn Mykolaiovych, Postgraduate Student at the Department of Biology, Nizhyn Mykola Gogol State University, ORCID ID: 0000-0001-5756-5342, Nizhyn, Ukraine

Features of adaptive mechanisms of the cardiovascular system in acquired myopia

Introduction. Acquired myopia is one of the most common refractive anomalies in modern society, and the number of cases continues to grow globally each year. Various factors such as prolonged visual strain, insufficient physical activity, improper lighting, and genetic predisposition contribute to its development and progression. In this context, the study of systemic changes in the body, particularly the adaptive mechanisms of the cardiovascular system in the presence of myopia, is highly relevant.

Aim of the work. Conducting a comprehensive analysis of hemodynamic indicators that reflect functional changes in the cardiovascular system, including the adaptive potential, in individuals with acquired myopia.

Materials and methods of the study. The study was conducted among 146 volunteers aged 18-35, divided into a control group and a group of individuals with acquired myopia of varying degrees. A clinical and functional examination of the cardiovascular system was performed, key hemodynamic parameters were determined, and calculations and comparisons of functional status indicators between the two groups were carried out.

Research results and their discussion. In individuals with acquired myopia, a significant increase was found in systolic blood pressure, the circulatory efficiency coefficient, Robinson index, and adaptive potential. An increase was also observed in heart rate, diastolic and pulse blood pressure, stroke volume, cardiac output, left ventricular work power, systolic index, functional state coefficients of the circulatory and cardiorespiratory systems, Kerdo vegetative index, as well as cardiac and stroke indices. A decrease was noted in heart volume, Hildenbrandt coefficient, total peripheral resistance, and specific peripheral resistance.

Conclusions. Acquired myopia is accompanied by systemic functional changes in the cardiovascular system, which are compensatory in nature and may reflect the body's adaptive response to the load on the visual analyzer.

Key words: myopia, cardiovascular system, hemodynamics, adaptive potential.

Вступ. Короткозорість є однією з найпоширеніших рефракційних аномалій зору, що характеризується зміщенням фокуса зображення перед сітківкою ока, яке зумовлене надмірною заломлювальною силою оптичних середовищ ока та/або осьовим подовженням його передньо-задньої осі. В результаті цього у людини знижується здатність чітко бачити віддалені об'єкти [1, 2]. Етіологія короткозорості є багатофакторною, з можливим впливом як генетичних, так і зовнішніх чинників, серед яких виділяють надмірне зорове навантаження, тривалу роботу з електронними пристроями, зниження фізичної активності та недостатнє перебування на відкритому повітрі. Вважається, що діяльність, пов'язана з роботою поблизу, наприклад, читанням, письмом, використанням комп'ютера чи грою у відеоігри сприяє розвитку короткозорості [3]. Біомеханіка розтягування очного дна залежить від генетичних або візуальних змін склери, які зменшують її товщину та модуль пружності, що призводить до того, що вона стає більш сприйнятливою до розтягуючих сил внутрішньоочного тиску [4]. Короткозорість супроводжується широким спектром анатомічних, біохімічних та генетичних біомаркерів, що свідчить про її багатофакторну природу і складні механізми розвитку [5]. Дослідження підтверджують, що серія сигнальних шляхів та медіатори, включаючи дофамін, ретиноєву кислоту, Wnt/β-катенін, трансформуючий фактор росту-β (TGF-β) та фактор, індукований гіпоксією 1-альфа (HIF-1α), пов'язані з розвитком короткозорості [6, 7, 8, 9, 10]. У дослідженні Т. Є. Цибульської, С. В. Горбачової та Т.С. Завгородньої було представлено біохімічні критерії, які можуть слугувати ознаками наявності синдрому недиференційованої дисплазії сполучної тканини [11]. Короткозорі особи мають деякі відхилення у біохімічних показниках крові, ліпідному профілі, системному імунітеті [12, 13, 14, 15]. Окрім того, важливу роль відіграє психологічний стан таких осіб [16, 17]. Постійне функціональне навантаження зорового аналізатора, необхідність використання коригувальних засобів, а також можливі соціальні та професійні обмеження можуть призводити до підвищеного рівня стресу, що негативно впливає на серцево-судинну систему, що відображається в показниках центральної гемодинаміки та електрокардіограм [18, 19]. У свою чергу, стрес-індуковані зміни в роботі серця та судин можуть проявлятися підвищенням артеріального тиску, порушенням варіабельності серцевого ритму та змінами в механізмах судинної регуляції [20]. Існують також дані про нейрофізіологічні особливості розвитку короткозорості. Зокрема, порушення у взаємодії між зоровою корою та м'язами ока спричиняє формування стійкого фокусування на близькій відстані, що сприяє видовженню очного яблука [21]. Біомеханічні зміни в склері, пов'язані з її розтягуванням та зниженням модуля пружності, також відіграють роль у розвитку короткозорості [22]. Згідно з гіпотезою «адаптивної короткозорості», це порушення рефракції могло мати еволюційне значення, сприяючи виживанню в умовах, де важливими були навички дрібної моторики та розпізнавання деталей поблизу [23]. Також висунуто припущення, що тривала адаптація до умов освітлення, зокрема зниженого природного світла, могла вплинути на формування генетичної основи короткозорості [24]. Згідно з науковим доробком Поручинської Т. Ф., Пасичнюк І. Ф., Поручинського А. І. та Дмитроци О. Р. відомо, що адаптацією є всі види вродженої та набутої пристосувальної діяльності людини, які забезпечуються певними фізіологічними реакціями, що відбуваються на клітинному, органному, системному та організменному рівнях. Гомеостаз до певної міри перебудовується на новий рівень, який є більш адекватним для конкретних умов, що є основою адаптації [25]. Усе це відображає особливості сучасного способу життя, що створює передумови для зростання поширеності короткозорості серед різних вікових груп [26, 27]. Таким чином, наукова література містить дані про комплексний характер формування короткозорості, що включає взаємодію зорового, нейрогуморального, біомеханічного та генетичного компонентів, з можливим системним впливом на регуляторні механізми діяльності організму, зокрема й серцево-судинну систему, яка забезпечує організм людини киснем, транспортує білки, жири, глюкозу та біологічно активні речовини до всіх органів і тканин. Вона є складною та багаторівневою структурою, яка здатна адаптуватися до різноманітних умов зовнішнього та внутрішнього середовища [28]. Хоча літературні джерела містять дані щодо поширеності короткозорості, використання різних методологічних підходів до її дослідження та інтерпретації ускладнює узагальнення результатів. Це призводить до розбіжностей у класифікації, зумовлених відмінностями у вибірках, ступенем залученості учасників, методами збору даних, а також культурними, соціальними та часовими факторами.

Метою роботи є проведення комплексного аналізу гемодинамічних показників, які характеризують функціональні зміни в серцево-судинній системі, в тому числі й адаптаційного потенціалу, в осіб з набутою короткозорістю.

Методологія та методи дослідження. У дослідженні брала участь група волонтерів, що складалася зі 146 осіб, включаючи як чоловіків, так і жінок. Усі волонтери були розподілені на дві групи: контрольну групу (72 особи) – середній вік якої складав 27,72±2,5 року, масою 75,26±3,1 кг та довжиною тіла 176,1±3,0 см, до якої входили особи які не страждали на набуту короткозорість та групу осіб з набутою короткозорістю різного ступеня (74 особи), середній вік складав 28,27±2,2 року, масою 73,12±2,7 кг та довжиною тіла 177,13±2,8 см. Усі волонтери проходили щорічний медичний огляд на базі амбулаторії загальної практики сімейної медицини №7 та на базі клініко-діагностичної лабораторії «CentroLab» в м. Дніпро протягом 2022–2025 років. Діагноз короткозорість та її ступінь були визначені під час щорічного профілактичного медичного обстеження, з використанням стандартних офтальмологічних діагностичних методів, проведених лікарями-фахівцями. Усі особи, які брали участь у дослідженні, надали свою письмову згоду на участь. Критеріями включення осіб до вищезазначених груп були: 1) вік від 18 до 35 років; 2) наявність діагнозу короткозорість слабкого, середнього і високого ступеня. Критеріями виключення із дослідження були: 1) вроджена короткозорість; 2) інші

зорові вади, запальні захворювання очей; 3) наявність гострих та хронічних запальних процесів; 4) наявність встановлених ендокринних, серцево-судинних, респіраторних, шлунково-кишкових, нервових та аутоімунних захворювань.

Функціональний стан серцево-судинної системи характеризували за такими показниками: частота серцевих скорочень (ЧСС), систолічний артеріальний тиск (САТ), діастолічний артеріальний тиск (ДАТ), які визначали в стані відносного спокою, з 8 до 10 години дня та використовували спеціальний прилад: автоматичний тонометр з манжетою на плече PARAMED Expert-X в положенні сидячи. Реєстрацію показників ЕКГ проводили в приміщенні з температурою повітря 20-22°С в горизонтальному положенні пацієнта після 10-15 хвилинного відпочинку натщесерце або через 2 години після приймання їжі. Пацієнта попереджували про необхідність лежати спокійно та розслаблено, дихати неглибоко, уникати кашлю і ковтання слини. Для запису ЕКГ використовували прилади: «БІОМЕД» BE300» та «Heart Mirror 3 IKO». Запис проводили після відповідного калібрування приладів. ЕКГ реєстрували у таких відведеннях – I, II і III стандартні відведення за Ейнтховеном, aVR, aVL, aVF за Гольдбергером та 6 грудних відведень (V1, V2, V3, V4, V5, V6). Частоту дихання (ЧД) підраховували за 1 хвилину у стані спокою сидячи. Залежно від типу дихання (грудне чи черевне), долоню (кисть) клали на нижню частину грудної клітки або на надчеревну ділянку обстежуваного, підраховували кількість дихальних рухів за 1 хвилину (при цьому відвертали увагу обстежуваного) [29]. Далі було розраховано нижчезазначені показники: пульсовий артеріальний тиск (ПАТ); систолічний об'єм крові (СОК) розраховували за формулою Старра; хвилинний об'єм крові (ХОК); коефіцієнт економічності системи кровообігу (КЕК); потужність роботи лівого шлуночка серця ($W_{лш}$); об'єм серця (V_c); індекс Робінсона (ІР); систолічний показник (СП); коефіцієнт функціонального стану системи кровообігу ($КФС_{ссс}$); коефіцієнт функціонального стану кардіореспіраторної системи ($КФС_{кр}$); вегетативний індекс Кердо (ВІК); коефіцієнт Хільденбранта; адаптаційний потенціал (АП); серцевий індекс (СІ); ударний індекс (УІ); загальний периферичний опір (ЗПО); питомий периферичний опір (ППО) [29, 30].

Статистичний аналіз отриманих результатів здійснювався з використанням програми Microsoft Office Excel 2021 (Microsoft, США). Статистичну обробку проводили з використанням t-критерію Стьюдента. Показники наведені як середнє значення ± стандартне відхилення (M±м). Різниця показників вважалася достовірною за значень $p<0,05$ [31].

Координацію роботи здійснювала кафедра біології Ніжинського державного університету ім. М.В. Гоголя (м. Ніжин).

Робота виконана відповідно до біоетичних норм з дотриманням відповідних принципів Гельсінської декларації прав людини, Конвенції ради Європи про права людини і біомедицини та відповідних законів України [32, 33].

Виклад основного матеріалу дослідження. Серцево-судинна система є однією з ключових у забезпеченні адаптації організму до різних фізіологічних та патологічних навантажень. У сучасних умовах значне поширення набутої короткозорості, особливо серед молоді, супроводжується зростанням зорового навантаження, тривалим використанням ґаджетів та обмеженням фізичної активності. Ці фактори можуть впливати не лише на орган зору, а й на загальний стан серцево-судинної системи. Зростання інтересу до вивчення системної реакції організму на зоровий стрес обумовлює необхідність оцінки гемодинамічних показників в осіб з цією патологією зору. Зокрема, дослідження показників, які представлено в таблиці 1, дозволяє виявити можливі компенсаторно-пристосувальні зміни та прояви перевантаження регуляторних механізмів.

Таблиця 1

Показники функціонального стану серцево-судинної системи на тлі набутої короткозорості

Показники	Контрольна група (n=72)	Група осіб з набутою короткозорістю (n=74)
ЧСС, уд/хв	73,62±1,96	75,9±2,7
САТ, мм рт. ст.	121±2,1	127,1±2,8*
ДАТ, мм рт. ст.	74,1±2,5	76,26±1,1
ПАТ, мм рт. ст.	45,9±2,8	50,84±2,7
СОК, мл	59,56±1,6	60,40±1,9
ХОК, л/хв	4,38±0,4	4,58±0,27
КЕК, у.о	3379,2±182,4	3858,76±161,2*
Wлш, вт	1,05±0,05	1,16±0,08
Vc, см3	826,42±11,2	812,7±10,1
ІР, у.о	89,08±2,8	96,46±3,3*
СП, %	42,86±1,2	43,01±1,5
КФСссс, у.о	0,58±0,02	0,60±0,02
КФСкр, у.о	0,28±0,01	0,29±0,01
ВІК, у.о	-0,65±0,1	-0,47±0,1
КХ, у.о	4,25±0,09	4,24±0,08
АП, у.о	2,3±0,03	2,41±0,02*
СІ, л/хв/м2	2,28±0,07	2,41±0,06
УІ, мл/м2	31,08±0,4	31,3±0,4
ЗПО, дин×с×см-0,5	1635,7±28,4	1624,7±21,1
ППО, дин×с×см-0,5×м2	3134,4±29,7	3085,8±31,4

Примітка:* – різниця показників вірогідна ($p<0,05$).

Дослідження гемодинамічних параметрів дозволяє визначити особливості функціонального стану в осіб з набутою короткозорістю. Саме ці показники дають змогу оцінити, як організм адаптується до зорового навантаження та наявність ознак компенсаторного напруження функціональних систем. Порівняння показників функціонального стану серцево-судинної системи між групою осіб з набутою короткозорістю та контрольною групою, виражене через відсоткову різницю між абсолютними показниками обох груп, при цьому показники контрольної групи взято за 100%, згруповано за ключовими параметрами і представлено на рисунках 1, 2 та 3.

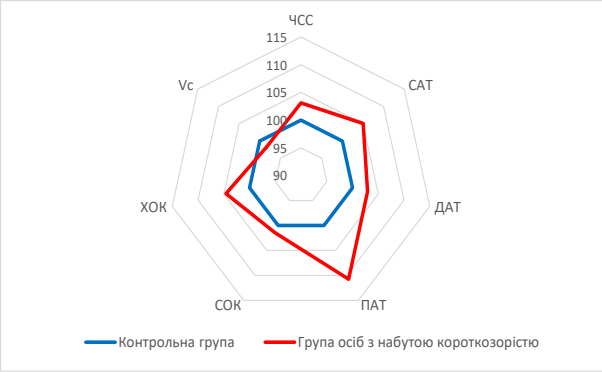


Рис. 1. Показники параметрів центральної гемодинаміки у контрольної групи та групи осіб з набутою короткозорістю

Встановлено достовірне збільшення систолічного артеріального тиску на 5,04%. Наступні показники мали тенденцію до збільшення: частота серцевих скорочень на 3,1%; діастолічний артеріальний тиск на 2,92%; пульсовий артеріальний тиск на 10,76%, що відображає вищу силу серцевого викиду у короткозорих осіб. Незважаючи на незначне підвищення систолічного об'єму крові лише на 1,41%, показник хвилинного об'єму кровообігу підвищився на 4,57%, що пояснюється зростанням частоти серцевих скорочень як компенсаторного механізму. Відносна величина об'єму серця в осіб з короткозорістю була дещо меншою на 1,69% у порівнянні з контрольною групою.

Згідно з літературними джерелами, тенденція до відносного зменшення величини об'єму серця у короткозорих осіб, ймовірно, пов'язана з антропометричними характеристиками (маса та зріст тіла) або з компенсаторним зменшенням камер серця в умовах підвищеного тонусу [30].



Рис. 2. Показники економічності кровообігу та периферичної регуляції у контрольної групи та групи осіб з набутою короткозорістю

У короткозорих осіб простежувалося достовірне збільшення в порівнянні з контрольною групою коефіцієнта економічності кровообігу на 14,19% та індексу Робінсона, який є маркером функціонального стану серцево-судинної системи, був підвищений на 8,29%, що вказує на вищу напруженість регуляторних механізмів. В нормі у здорових нетренованих чоловіків величина КЕК складає 2400-3200 у.о., а у жінок – 2600-3400 у.о. [29].

В нормі величина серцевого індексу (еукінетичний тип регуляції) складає для здорових нетренованих людей 2,5–3,5 л/хв/м^2. Відхиленнями від норми вважаються гіокинетичний (менше 2,5 л/хв/м^2) і гіперкінетичний (більше 3,5 л/хв/м^2) типи регуляції [30]. В обох групах абсолютні значення величин серцевого індексу не виходили за межі норми (еукінетичний тип регуляції), однак у групі короткозорих осіб його відносне значення було більшим на 5,7% ніж у контрольної групи.

Відносні показники потужності роботи лівого шлуночка та ударного індексу у короткозорих осіб були вищими на 10,48% та 0,7% відповідно, що є одними із маркерів, що характеризують функціональний стан серцево-судинної системи.

В нормі величина ЗПО складає у здорових нетренованих чоловіків 1400-2200 дин•с•см $^{-0,5}$, а у жінок – 1600-2400 дин•с•см$^{-0,5}$ [30]. Загальний периферичний опір в осіб з набутою короткозорістю зменшився на 0,67% порівняно з контрольною групою, що може вказувати на незначне зниження опору судин, можливо, як адаптації до підвищеного серцевого викиду. Питомий периферичний опір у осіб з короткозорістю також зменшився на 1,57%, що підтверджує попередню тенденцію до розширення судинного русла та незначного зниження тонусу периферичних судин.

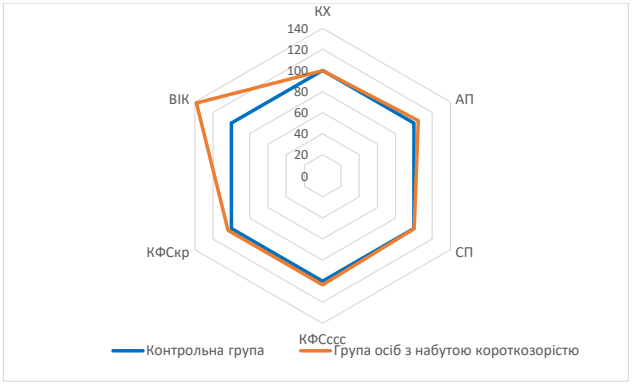


Рис. 3. Показники функціонального стану, адаптації та вегетативної регуляції у контрольної групи та групи осіб з набутою короткозорістю

Фізичний стан людини охоплює низку основних показників, серед яких і стан здоров'я, що передбачає відповідність життєвих функцій встановленим нормам і рівень опору організму до негативного впливу зовнішнього середовища; морфологічні особливості тіла; функціональний стан фізіологічних систем тощо. Особливу роль у визначенні адаптаційного потенціалу серцево-судинної системи відіграють саме морфологічні характеристики тіла та фізіологічні функції. Аналізуючи інтегративні показники та індекси центральної гемодинаміки нами було виявлено, що адаптаційний потенціал серцево-судинної системи в обох групах знаходився у межах від 2,2 до 3,0 у.о. (напруження адаптаційних механізмів) [29]. Однак, у групі короткозорих осіб цей показник був достовірно більшим на 4,78% у порівнянні з контрольною групою.

Абсолютні значення коефіцієнту Хільденбранта в обох групах були в межах 2,8-4,9, що свідчить про нормальні міжсистемні співвідношення [34]. Проте у групі короткозорих осіб його значення було меншим на 0,24%. Абсолютні значення вегетативного індексу Кердо в обох групах входили в межі які відповідають врівноваженості симпатичних і парасимпатичних впливів та становлять від -15 до +15 [34]. Однак, у короткозорих осіб значення цього індексу було більшим на 38,3% у порівнянні з контрольною групою. Коефіцієнт функціонального стану системи кровообігу збільшився на 3,57%, однак в обох групах він не виходив за межі норми. Норма $КФС_{кр}$ складає 0,171–0,211 у.о. Вихід значень $КФС_{кр}$ за межі цього інтервалу надає змогу дійти висновку про фізіологічно значущі зміни кардіореспіраторної функції [28]. Коефіцієнт функціонального стану кардіореспіраторної системи у групи короткозорих осіб мав тенденцію до збільшення на 3,45%. Норма $КФС_{ссс}$ складає 0,580-0,655 у.о. Вихід значень $КФС_{ссс}$ за межі цього інтервалу надає змогу дійти висновку про фізіологічно значущі зміни серцевої діяльності [30]. В обох групах його значення виходили за межі норми. Відносні значення систолічного показника у групи з короткозорістю мали тенденцію до незначного зростання на 0,35%, що свідчить про стабільність ударного об'єму серця при підвищеній частоті серцевих скорочень.

Висновки з дослідження. Комплексний аналіз гемодинамічних показників у осіб з набутою короткозорістю виявив характерні зміни у функціонуванні серцево-судинної системи, які свідчать про напруження адаптивних механізмів в умовах підвищеного зорового навантаження. Виявлено зростання, яке було достовірним в таких показниках: систолічний артеріальний тиск; коефіцієнт економічності кровообігу; індекс Робінсона та адаптаційний потенціал. Спостерігалось збільшення показників частоти серцевих скорочень; діастолічного та пульсового артеріального тиску; систолічного та хвилинного об'єму крові; потужності роботи лівого шлуночка; систолічного показника; помірне зростання коефіцієнтів функціонального стану системи кровообігу та стану кардіореспіраторної системи; вегетативного індексу Кердо; серцевого та ударного індексів, що вказує на більш напружену діяльність кардіореспіраторної системи та підвищення метаболічної потреби організму у кровообігу. Також простежувалось зниження об'єму серця, який залежав від маси та зросту тіла учасників дослідження; коефіцієнту Хільденбранта; загального та питомого периферичного опору, що свідчить про судинну адаптацію до збільшеного серцевого викиду та підтримання адекватної перфузії органів. Ці зміни мають компенсаторний характер та вказують на активацію симпатоадреналової регуляції в забезпеченні гомеостазу, що може розглядатися як підтвердження того факту, що набута короткозорість є адаптаційною реакцією.

REFERENCES

1. Foster PJ, Jiang Y. Epidemiology of myopia. Eye (Lond). 2014;28(2):202-8. https://doi.org/10.1038/eye.2013.280
2. Baird PN, Saw SM, Lanca C, et al. Myopia. Nat Rev Dis Primers. 2020;6:99. https://doi.org/10.1038/s41572-020-00231-4
3. French AN, Morgan IG, Mitchell P, Rose KA. Risk Factors for Incident Myopia in Australian Schoolchildren: the Sydney Adolescent Vascular and Eye Study. Ophthalmology. 2013;120(10):2100-8. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2013.02.035
4. McMonnies CW. An examination of the relation between intraocular pressure, fundal stretching and myopic pathology. Clin Exp Optom. 2016;99(2):113-9. https://doi.org/10.1111/cxo.12302
5. Chakraborty R, Read SA, Vincent SJ. Understanding Myopia: Pathogenesis and Mechanisms. Updates on Myopia. 2019:65-94. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8491-2_4
6. Zhou X, Pardue MT, Iuvone PM, Qu J. Dopamine signaling and myopia development: What are the key challenges. Prog Retin Eye Res. 2017;61:60-71. https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2017.06.003
7. Yu M, Liu W, Wang B, Dai J. Short Wavelength (Blue) Light Is Protective for Lens-Induced Myopia in Guinea Pigs Potentially Through a Retinoic Acid–Related Mechanism. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2021;62(1):21. https://doi.org/10.1167/iovs.62.1.21
8. Liu Z, Xiu Y, Qiu F, et al. Canonical Wnt Signaling Drives Myopia Development and Can Be Pharmacologically Modulated. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2021;62(9):21. https://doi.org/10.1167/iovs.62.9.21
9. Zhu X, Du Y, Li D, et al. Aberrant TGF-beta1 signaling by MAF underlies lens growth in high myopia. Nat Commun. 2021;12(1):2102. https://doi.org/10.1038/s41467-021-22041-2
10. Zhao F, Zhang D, Zhou Q, et al. Scleral HIF-1alpha and myopia pathogenesis. EBioMedicine. 2020;57:102878. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2020.102878
11. Tsybulska TIe., Horbachova SV., Zavhorodnia TS. Kliniko-diahnostychne znachennia porushen elektrolitnoho obminu u ditei z nabutoiu miopiieiu [Clinical diagnostic significance of electrolyte imbalance in children with acquired myopia]. Oftalmolohichnyi zhurnal. 2019;3:14-19. [in Ukrainian].
12. Ivasenko AIu. Pokaznyky lipidnoho obminu u osib z korotkozoristiu [Indicators of lipid metabolism in individuals with acquired myopia]. Acta Carpathica. 2023;2(40):44-50. Available from: https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.2.5 [in Ukrainian].
13. Perekhodko KM. Vplyv nabutoi korotkozorosti slabkoho stupenia na deiaki biokhimichni pokaznyky krovi [The impact of mild acquired myopia on certain biochemical blood parameters]. In: Mezhiievska I, Maslovskyi V, Pavlov S, editors. Medicine and psychology: modern problems, new technologies and ways of developing outdated theories: collective monograph. Boston: Primedia eLaunch; 2024;185-92. Available from: https://doi.org/10.46299/ISG.2024.MONO.MED.1.10.2 [in Ukrainian].
14. Kolesnyk YuI, Sheiko VI. Changes of indexes of humoral immunity in the conditions of acquired myopia of different degree. Bulletin of problems biology and medicine. 2018;4(2):383-386. https://doi.org/10.29254/2077-4214-2018-4-2-147-383-386
15. Kolesnyk Yu, Sheiko V, Dereka T. Comparison of Indicators of cellular and humoral immunity in acquired myopia and high degree. Zdravotnicke listy. 2020;8(4):36-42. https://doi.org/10.32782/1339-3022/2020/4.8.8

16. Li Q, Yang J, He Y, Wang T, Zhong L, Zhu Z, Wang T, Ling S. Investigation of the psychological health of first-year high school students with myopia in Guangzhou. Brain Behav. 2020; Apr;10(4):e01594. https://doi.org/10.1002/brb3.1594

17. Korkoman AJ, Korkoman SJ, Alotaibi MM, Bukhari RA, Alsalmi RA, Alsaleem H, Alahmed S, Alrehaili A, Almishali FF, Al-Amri A. Association between myopia and psychological well-being: a cross-sectional study based on Saudi university students. International Journal of Research in Medical Sciences. 2025 Apr;13(4):1438-1446. https://doi.org/10.18203/2320-6012.ijrms20250964

18. Ivasenko AIu., Sheiko VI. Pokaznyky tsentralnoi hemodynamiky na tli nabutoi korotkozorosti [Central hemodynamic parameters in the context of Acquired Myopia]. Aktualni problemy suchasnoi medytsyny: Visnyk Ukrainskoi medychnoi stomatolohichnoi akademii. 2024;24(2):27-30. Available from: https://doi.org/10.31718/2077-1096.24.2.27 [in Ukrainian].

19. Ivasenko AIu. Osoblyvosti pokaznykiv elektrokardiohramy v osib z nabutoiu korotkozoristiu [Features of electrocardiogram parameters in individuals with acquired myopia]. In: Mezhiievska I, Maslovskyi V, Pavlov S, editors. Medicine and psychology: modern problems, new technologies and ways of developing outdated theories: collective monograph. Boston: Primedia eLaunch; 2024. p. 176-84. Available from: https://doi.org/10.46299/ISG.2024.MONO.MED.1.10.1 [in Ukrainian]

20. Kim HG, Cheon EJ, Bai DS, Lee YH, Koo BH. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. Psychiatry Investig. 2018 Mar;15(3):235-245. https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17

21. William YJ. Neurological Implications in the Treatment of Myopia by Means of Orthoculogy. J Neurol Neurophysiol. 2014;5(6):1000257. https://doi.org/10.4172/2155-9562.1000257

22. McMonnies CW. An examination of the relation between intraocular pressure, fundal stretching and myopic pathology. Clin Exp Optom. 2016 Mar;99(2):113-9. https://doi.org/10.1111/cxo.12302

23. Wielkiewicz RM. Myopia is an Adaptive Characteristic of Vision: Not a Disease or Defect. Review of General Psychology. 2016;20*(*4):437-451. https://doi.org/10.1037/gpr0000090

24. Xia T, Nakayama K. Signatures of adaptation in myopia-related genes on the sunlight exposure hypothesis. J Physiol Anthropol. 2023 Nov 2;42(1):25. https://doi.org/10.1186/s40101-023-00341-4

25. Poruchynska TF, Pasychniuk IF, Poruchynskyi AI. Ekolohichna fiziolohiia liudyny [Human ecological physiology]. Lutsk, 2021;272 p. [in Ukrainian].

26. Moiseienko RO, Holubchykov MV, Mykhalchuk VM, ta in. Oftalmolohichna dopomoha v Ukraini za 2014-2017 roky (analitychnostatystychnyi dovidnyk) [Ophthalmological care in Ukraine in 2014-2017 (Analytical and statistical reference book)]. Kyiv, 2018; 314 p. [in Ukrainian].

27. World Report on Vision. World Health Organization 2019. 180 p. Available from: https://www.who.int/publications/i/item/world-report-on-vision

28. Shevchuk VH. Fiziolohiia [Physiology]. Vinnytsia : Nova knyha, 2018;447 p. [in Ukrainian].

29. Maltseva OB, Liakhovets LO. Funktsionalna ta kliniko-laboratorna diahnostyka [Functional and clinical-laboratory diagnostics]. Uzhhorod, Vydavnytstvo TOV Printlain, 2022;213 p. [in Ukrainian].

30. Malikov MV, Svatiev AV, Bohdanovska NV. Funktsionalna diahnostyka u fizychnomu vykhovanni i sporti [Functional diagnostics in physical education and sports]. Zaporizhzhia: ZNU, 2020; 227 p. [in Ukrainian].

31. Yeremenko VS, Kuts YuV, Mokiichuk VM, Samoilichenko OV. Statystychnyi analiz danykh vymiriuvan [Statistical analysis of measurement data]. Kyiv: NAU, 2013; 320 p. [in Ukrainian].

32. World Medical Association. Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects [Internet]. 2008 [cited 2024 Sep 1]. Available from: https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki/

33. Universal declaration on bioethics and human rights [Internet]. 2005 [cited 2024 Sep 19]. Available from: https://www.unesco.org/en/legal-affairs/universal-declaration-bioethics-and-human-rights

34. Sokruta VM. and others. Fizychna, reabilitatsiina ta sportyvna medytsyna [Physical, rehabilitation and sports medicine]. Kramatorsk: Kashtan, 2019; 480 p. [in Ukrainian].