

УДК 796:612.135:613.73-053.81

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-63-71

Ширлі-Анастасія Сергіївна Корман

Національний університет фізичного виховання і спорту України

Korman.Shyrli@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1422-2689>**Галина Володимирівна Лук'янцева**

Національний університет фізичного виховання і спорту України

lukjantseva@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8054-0108>

ВІКОВІ ЗМІНИ МАКРО- І МІКРОЦИРКУЛЯЦІЇ КРОВІ ПІД ВПЛИВОМ ДОЗОВАНОГО ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД СТУПЕНЯ ТРЕНОВАНОСТІ ОРГАНІЗМУ

В статті розглядаються особливості змін макро- і мікроциркуляції крові після дозованого фізичного навантаження у осіб різного віку і різного ступеня тренуваності. Показано, що хвилинний об'єм крові в стані спокою у спортсменів є вищим, ніж у нетренованих осіб, у всіх вікових групах. Після виконання дозованого фізичного навантаження величина означеного параметру збільшується у всіх вікових групах, як у нетренованих студентів, так і у спортсменів; найбільший приріст відзначається у спортсменів. Зростання величини хвилинного об'єму крові опосередковується у спортсменів збільшенням систолічного об'єму, що може свідчити про більш економічну та ефективну адаптацію серцево-судинної системи до фізичної роботи. Величини параметрів, які визначають мікроциркуляцію крові, визначаються рівнем перфузії одиниці об'єму тканини за одиницю часу. В більшості випадків у юнаків з більшими величинами параметра мікроциркуляції при дозованому фізичному навантаженні спостерігається покращення ефективності регуляції кровотоку за рахунок переважання активних механізмів регуляції.

Ключові слова: дозоване фізичне навантаження; серцево-судинна система, макроциркуляція; мікроциркуляція; студенти; спортсмени.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зміна функцій серцево-судинної системи під впливом м'язової діяльності привертає увагу фізіологів, медиків та фахівців у галузі фізичної культури та спорту і є актуальним питанням сучасної фізіологічної науки. Необхідність з'ясування фізіологічних закономірностей впливу м'язової роботи на параметри системи кровообігу стає важливим завданням науки, оскільки на даний час спорт все глибше проникає в життя студентської молоді, і певною мірою слугує антистресовим фактором. Заняття фізичною культурою та спортом дуже популярні і тому актуальність проблеми впливу фізичних вправ на організм молоді та спортсменів з кожним роком зростає [1, 2].

Важливими характеристиками формування реакції системи кровообігу на фізичні навантаження є як особливості механізмів регуляції центральної гемодинаміки, так і мікроциркуляції крові. Щодо останньої, то периферичний кровообіг забезпечує основу нормальної життєдіяльності органів і систем, повноцінне функціонування клітинних елементів при різноманітних впливах на організм, у тому числі при фізичній роботі [3]. Втім, вивчення реактивності системи мікроциркуляції за умов м'язової діяльності потребує ясного розуміння механізмів перебудов у всіх ланках мікроциркуляторного русла і має значення не тільки для фізіології спорту і спортивної медицини, але й має загальнофізіологічний інтерес [4, 5].

Наявні в літературі дані щодо зміни параметрів мікроциркуляції показують, що в процесі спортивного тренування відбувається певна морфофункціональна перебудова всього мікроциркуляторного русла, спрямована на підтримку оптимальної оксигенації в скелетних

м'язах [6, 7]. За останні 10 років використання лазерної доплерівської флоуметрії (ЛДФ) для оцінки моніторинга стану мікроциркуляції крові значно розширилось як в експериментальних, так і в клінічних умовах [8]. Проте, залишається цілий ряд невирішених проблем, які обумовлюють зміни мікроциркуляції крові під впливом різних доз фізичної роботи [9, 10]. Наявні у сучасній літературі дані свідчать про відсутність єдиної думки і остаточної з'ясованості механізмів, які лежать в основі структурно-функціональних змін макро- та мікроциркуляторного русла після виконання фізичних вправ у осіб різного віку залежно від ступеня їхньої тренуваності.

З огляду на вищезазначене, **метою** нашого дослідження було визначення особливості реакції макро- та мікроциркуляції крові на дозоване фізичне навантаження у осіб різного віку і різного ступеня тренуваності.

Матеріали та методи дослідження. Особливості системного кровообігу і мікроциркуляції при дозованому фізичному навантаженні (ДФН) залежно від ступеня тренуваності організму досліджували при обстеженні чоловіків у віці 18 - 21 року, тренуваних (спортсмени-легкоатлети рівня кандидатів у майстри спорту, в подальшому - спортсмени) та нетренуваних того ж віку (в подальшому - студенти). Обстежені були розподілені на 4 вікові групи:

	студенти:	спортсмени:
1 група	18-річні (16 осіб);	18-річні (20 осіб);
2 група	19-річні (10 осіб);	19-річні (14 осіб);
3 група	20-річні (10 осіб);	20-річні (10 осіб);
4 група	21-річні (16 осіб);	21-річні (10 осіб).

Усі обстеження проводились відповідно до рекомендацій етичних комітетів з питань біомедичних досліджень, Гельсінської декларації 2000 р. та директиви Європейського товариства 86/609 стосовно участі людей у медико-біологічних дослідженнях. Спортсмени обстежувались в рамках проведення стандартного тренувального процесу, у відповідності до засад поточного контролю у теорії і практиці спорту (2015 р.), Типового положення про центр олімпійської підготовки (2007 р.) і «Стратегії формування сучасної системи олімпійської підготовки» (Закон № 77-VIII від 28.12.2014 р.). Дослідження із залученням студентів та спортсменів проводили за їх особистої згоди, у відповідності до Конвенції Ради Європи «Про захист прав людини і людської гідності в зв'язку з застосуванням досягнень біології та медицини: Конвенція про права людини та біомедицину (ETS № 164)» від 04.04.1997 р., і Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (2008 р.).

Групи студентів і спортсменів обстежувались тричі: у стані відносного фізіологічного спокою (тобто, вимірювали вихідні або контрольні значення); після однократного виконання фізичних вправ (дозоване фізичне навантаження на велоергометрі з частотою 170 об/хв, протягом 2 хвилин); однократне дозоване фізичне навантаження на тлі проведення тритижневого дозованого фізичного навантаження (за аналогічною схемою).

Для моделювання м'язової роботи використовували велоергометр Ergoselect 100 (Ergoline GmbH, Україна) з автоматичним вимірюванням величини артеріального тиску. У велоергометрі опціонально вбудований модуль автоматичного вимірювання рівня артеріального тиску, котрий працює зі спеціально розробленим мікрофоном для манжети. Поєднання акустичного методу вимірювання і алгоритмів для придушення артефактів забезпечує точні результати вимірювання навіть при значних обсягах м'язової роботи. Визначення функціональних показників серцево-судинної системи проводили за відповідними підходами та формулами [11]:

1. Пульсовий тиск (ПТ) - різниця між систолічним і діастолічним тиском.

2. Середній динамічний тиск (СДТ): $СДТ = ДАТ + ПТ/3$, де ДАТ – діастолічний артеріальний тиск.

3. Визначення системи – «пульсовий тиск – хвилинний об'єм крові» проводили за формулою Старра [12]:

$$УО = 90,97 + 0,54 ПТ - 0,57 ДАТ - 0,61В,$$

де УО – ударний об'єм, ПТ - пульсовий тиск, ДАТ - діастолічний аретріальний тиск, В – вік в роках.

4. Визначення величини ХОК: $ХОК = УО \times ЧСС$, де ЧСС – частота серцевих скорочень.

Мікроциркуляцію крові (МЦК) оцінювали за допомогою лазерної доплерівської флоуметрії (ЛДФ) із застосуванням апарата для ЛДФ BLF 21 (Transonic System Inc., США), при накладанні електродів на вентральну поверхню дистальної фаланги 4-го пальця руки. Аналіз отриманих ЛДФ-грам виконували у відповідності з інструкцією до приладу.

Для вирішення поставлених у роботі завдань, досліджували основні параметри мікроциркуляції крові, до котрих належать: параметр мікроциркуляції (ПМ) - визначає рівень перфузії одиниці об'єму тканини за одиницю часу; величина середнього квадратичного відхилення (СКВ), що характеризує часову мінливість мікроциркуляції; коефіцієнт варіації (Kv), котрий дає інформацію про внесок вазомоторного компоненту в модуляцію тканинного кровотоку; індекс ефективності мікроциркуляції (ІЕМ), який дає інтегральну характеристику співвідношення механізмів активної (обумовленої біогенною та нейрогенною активністю прекапілярних вазомоторів та власне судинним тонусом) і пасивної (обумовленої флуктуаціями кровотоку, синхронізованими з кардіо- та дихальними ритмами) модуляції кровотоку і вказує на ефективність перфузії одиниці об'єму тканини;

$$\frac{A_{\max} CF_1}{A_{\max} LF} - \text{активний механізм регуляції кровотоку};$$

$$\frac{A_{\max} HF_1}{A_{\max} LF} \text{ пасивний механізм регуляції кровотоку.}$$

Статистичну обробку отриманих результатів здійснювали за допомогою програми STATISTICA 6.0 і представляли у вигляді «середнє значення \pm стандартна похибка середнього» ($M \pm SEM$). Для визначення нормальності розподілу виборки даних використовували тест Шапіро-Уїлка. Відповідно до критерію Шапіро-Уїлка, отримані результати вкладалися в нормальний закон розподілу. Для оцінки їх достовірності використовували однофакторний дисперсійний аналіз one-way ANOVA і оцінювали вірогідність відмінностей між показниками. Вірогідними вважалися розбіжності при $p < 0,05$.

Результати досліджень та їх обговорення. При обстеженні легкоатлетів різного віку у вихідному стані (до виконання ДФН) було встановлено, що існують достовірні відмінності величин деяких функціональних показників серцево-судинної системи, попри незначно вікові відмінності в межах 18 - 21 років. Особливості вікових відмінностей величин деяких функціональних параметрів серцево-судинної системи у спортсменів у стані спокою представлені у таблиці 1. Як видно з таблиці 1, найбільші відмінності спостерігалися між величинами параметрів крайніх вікових груп. Хвилеподібні коливання величин більшості виміряних нами параметрів можна пов'язати з післяпубертатним періодом, що обумовлюється комплексом морфологічних і функціональних перебудов в організмі юнаків, і стосується фізичного, психічного, соціального розвитку, а також стабілізації гормонального статусу [13].

Дослідження показали, що у спортсменів величина хвилинного об'єму крові в стані спокою була вищою, ніж у студентів усіх вікових груп. Така динаміка змін свідчить про ефективну і економічну роботу серцево-судинної системи у спортсменів. Це є наслідком тривалих і регулярних фізичних навантажень, які призводять до формування адаптивних реакцій з боку системи кровообігу, що, в свою чергу, сприяє підвищенню ефективності її функціонування. Відміни у величині ХОК в групах нетренованих і тренуваних осіб

обумовлена різницею внеску із боку частоти серцевих скорочень та систолічного об'єму серця, тобто - різною ефективністю кровообігу.

Слід відзначити, що найменша величина ЧСС була зареєстрована у 21-річних спортсменів, що може вказувати на більш економічну і ефективну роботу серця, що в свою чергу, обумовлюється адаптацією параметрів центральної і периферичної гемодинаміки до фізичних навантажень завдяки більшій тривалості занять спортом.

Таблиця 1

Вікові відмінності величин деяких функціональних показників серцево-судинної системи у спортсменів у стані спокою

Параметри	Вік в роках			
	18 (1 група)	19 (2 група)	20 (3 група)	21 (4 група)
Частота серцевих скорочень (ЧСС), л/хв	86,5±1,0 ^{#&}	66,0±2,6 ^{*&}	75,2±1,4 ^{*#}	61,0±2,2 ^{*&}
Систолічний об'єм (СО), мл	72,1±1,7	70,5±3,5	68,7±4,5	59,5±2,1 ^{*#&}
Хвилинний об'єм кровотоку (ХОК), л	6,2±0,5 ^{#&•}	4,6±0,9 [*]	5,1±1,0 [*]	3,6±2,1 ^{*&}
Систолічний артеріальний тиск (САТ), мм рт.ст.	131,2±1,3 ^{#&}	115,0±0,5 ^{*&•}	122,5±0,5 ^{*#•}	130,0±2,2 ^{#&}
Діастолічний артеріальний тиск (ДАТ), мм рт.ст.	80,7±0,2 [*]	75,7±0,5 ^{*•}	77,5±7,5 [*]	90,0±2,2 ^{*#&}
Пульсовий тиск (ПТ), мм рт.ст.	51,2±1,3 ^{#&•}	45,0±0,4 ^{*•}	45,0±0,5 ^{*•}	40,0±0,8 ^{*#&}
Середньо-динамічний тиск (СДТ), мм рт.ст.	97,1±0,4 ^{#&•}	90,0±0,4 ^{*•}	94,5±0,8 ^{*•}	103,3±0,2 ^{*#&}

Примітки: * - різниця достовірна з 1 групою - $p < 0,05$; # - різниця достовірна з 2 групою - $p < 0,05$; & - різниця достовірна з 3 групою - $p < 0,05$; • - різниця достовірна з 4 групою - $p < 0,05$.

Величина середньо-динамічного артеріального тиску відповідає рівню тиску, що забезпечує перфузію майже усіх органів в організмі і вказує на співвідношення впливів на серцево-судинну систему симпатичної і парасимпатичної ланок автономної нервової системи, а також адаптаційного потенціалу організму, зумовленого різними типами саморегуляції кровообігу. У загальному, слід відмітити хвилеподібну динаміку вікових змін артеріального тиску у обстежених нами як тренуваних, так і нетренуваних осіб.

Разом з цим, встановлені специфічні відмінності у величинах пульсового тиску. Пульсовий тиск є функціональним відображенням (баричним еквівалентом) пульсового об'єму крові, що надходить у певну кровеносну судину під час систоли і залишає її під час діастоли, та містить результат взаємодії нагнітальної функції серця, розтяжності артерій і величини хвилі відображення. Пульсовий тиск безпосередньо пов'язаний з жорсткістю судин [14]. Встановлена динаміка змін пульсового тиску (Табл. 1, 2) вважається свідченням нераціональної реакції на будь які впливи серцево-судинної системи з боку артеріального тиску, незважаючи на адаптованість до навантажень серцево-судинної системи [15].

Слід зазначити, що порівняно зі станом спокою, найбільше підвищення величини частоти серцевих скорочень після дозованої фізичної роботи відзначалося у 21-річних

спортсменів, що мабуть свідчить про досить швидку реакцію серця у більш тривало тренуваних спортсменів (див. табл. 1, 2). А ось у віковому аспекті, після виконання дозованої м'язової роботи, динаміка величини ЧСС у спортсменів хоча і мала тенденцію до хвилеподібних змін, проте, означені зміни були недостовірними щодо кожної вікової групи. Спостерігалось також і значне збільшення хвилинного об'єму крові (відносно контрольного рівня) саме у 21-річних спортсменів, що може свідчити про більшу тренуваність серця та адекватну реакцію на фізичне навантаження.

Таблиця 2

Вікові зміни деяких функціональних параметрів серцево-судинної системи у спортсменів після дозованого фізичного навантаження

Параметри	Вік в роках			
	18 (1 група)	19 (2 група)	20 (3 група)	21 (4 група)
Частота серцевих скорочень (ЧСС), л/хв	104,5±2,1 ^{#&•}	90,0±3,1 [*]	91,4±1,4 [*]	93,0 ± 2,8 [*]
Систолічний об'єм (СО), мл	86,3±1,9 ^{&}	81,6±1,1 [#]	79,9±1,4 ^{*#}	86,5±2,1 ^{&}
Хвилинний об'єм кровотоку (ХОК), л	8,6±0,3 ^{#&•}	7,7±0,4 ^{*&•}	7,3±0,3 ^{*#}	8,4±0,9 ^{#&}
Систолічний артеріальний тиск (САТ), мм рт.ст.	157,5±2,5 ^{#&•}	165,0±0,5 ^{*&•}	165,0±2,5 ^{*•}	170,0±2,0 ^{*#}
Діастолічний артеріальний тиск (ДАТ), мм рт.ст.	80,0±1,0 [•]	80,0±0,2 [•]	90,0±1,0 ^{*&•}	85,0±0,5 ^{*&}
Пульсовий тиск (ПТ), мм рт.ст.	77,5±3,0 [*]	70,0±2,0 [*]	75,0±2,0 [*]	85,0±2,5 [*]
Середньо-динамічний тиск (СДТ), мм рт.ст.	105,8±0,6 ^{#&•}	103,3±0,7 ^{*&•}	115,0±1,0 ^{*#}	113,3±0,3 ^{*#}

Примітки: * - різниця достовірна з 1 групою - $p < 0,05$; # - різниця достовірна з 2 групою - $p < 0,05$; & - різниця достовірна з 3 групою - $p < 0,05$; • - різниця достовірна з 4 групою - $p < 0,05$.

Порівнюючи вікові зміни величини систолічного тиску, можна помітити, що максимальні значення САТ зареєстровано у спортсменів 21 року. Однак, найбільш виражене відносно від стану до ДФН збільшення тиску систоли мало місце у 19-річних спортсменів (див. табл. 1, 2).

Щодо пульсового тиску то слід зазначити, що з віком пульсовий тиск має тенденцію до збільшення і максимальне значення після виконання м'язової роботи було у 21-річних спортсменів. Такі зміни визначаються переважно за рахунок динаміки систолічного тиску, а не діастолічного.

Найбільше зростання систолічного об'єму крові було також відзначено у 21-річних спортсменів, які займаються легкою атлетикою, і склало 45%. Таке значне зростання

у 21-річних спортсменів-легкоатлетів, ймовірно, зумовлене тим, що їхнє серце працює більш ефективно, що спостерігається і стосовно деяких інших параметрів. Можливо, це також обумовлено і завершеним віковим дозріванням адаптивних можливостей і функцій системи кровообігу.

Таким чином, було виявлено, що у спортсменів систолічний тиск із віком демонструє динаміку стрибкоподібних змін, найбільшу величину цього параметру зареєстровано у 18-річних, тоді як у нетренованих студентів найбільше значення відзначалося у 21-річних.

Діастолічний тиск у спортсменів і нетренованих студентів змінювався з віком хвилеподібно, найбільше значення відзначалося у 21-річних осіб. Середній динамічний тиск у спортсменів і студентів у вихідному стані змінювався стрибкоподібно, найбільша величина цього параметру відзначалася також у 21-річних студентів та спортсменів. Динаміка змін систолічного обсягу у стані спокою у студентів та спортсменів характеризувалася хвилеподібним характером змін з віком, у спортсменів його величина була більшою в усіх вікових групах. Подібна стрибкоподібна та хвилеподібна динаміка змін вимірних параметрів була притаманною для більшості показників незалежно від віку та ступеня тренуваності осіб.

У попередніх дослідженнях мікроциркуляції крові [16] було встановлено, що обстежених студентів та спортсменів кожної вікової групи необхідно було розподілити згідно вихідним величинам показника мікроциркуляції на дві підгрупи. До 1 підгрупи входили особи, у яких значення показника мікроциркуляції крові коливалися від 0,5 пф. од. до 10 пф. од. У 2 підгрупі показник мікроциркуляції коливався від 12 до 25 пф. од. (рис. 1). Наступні дослідження виявили, що такий поділ був повністю виправданим, оскільки величини та зміни інших параметрів, що характеризують мікроциркуляцію, в обох підгрупах також суттєво відрізнялися.

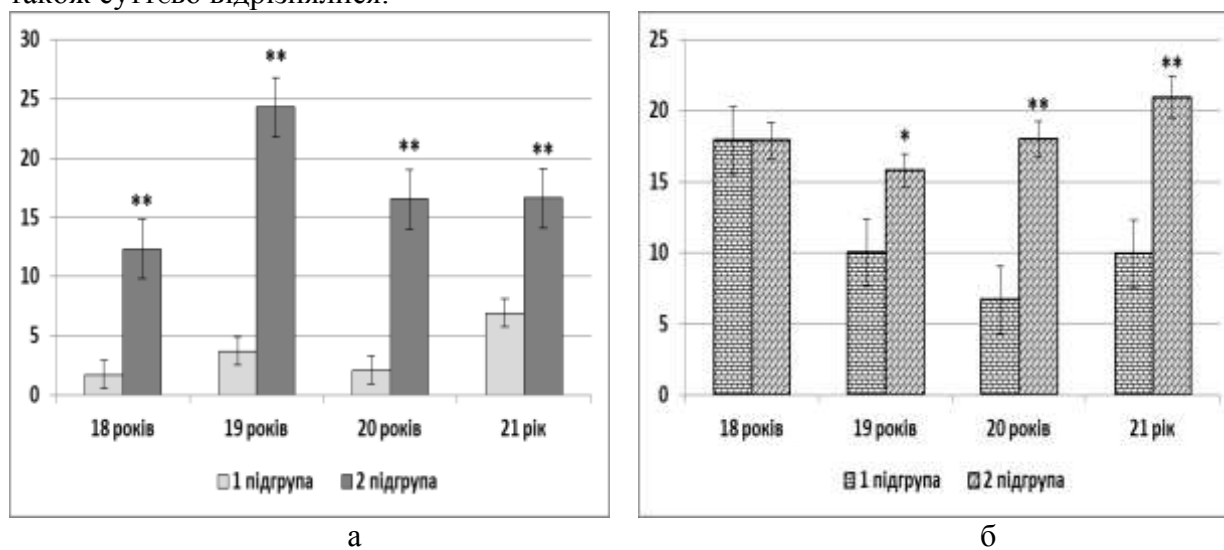


Рис. 1 Вікові зміни параметра мікроциркуляції у студентів (а) та спортсменів (б) до дозованого фізичного навантаження. Вірогідність різниці між 1 та 2 підгрупами:

* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$.

Таким чином, слід підкреслити, що величини параметрів суттєво відрізнялися залежності від приналежності юнаків до 1 або 2 підгрупи, а отже, і від величини показника мікроциркуляції, тобто, від рівня перфузії одиниці об'єму тканини за одиницю часу. Відмічені особливості функції серцево-судинної системи, скоріше за все, спричинені змінами будови і функціонування мікроциркуляторного русла. Так, параметр мікроциркуляції у студентів 1 та 2 підгруп у вихідному стані, у віковому порівнянні змінювався стрибкоподібно, величина змін була більш виражена у студентів 2 підгрупи. У спортсменів

величина цього параметру була найвищою у всіх вікових групах, порівняно з нетренованими студентами. Середнє квадратичне відхилення було вищим у студентів 2 підгрупи (у віковому порівнянні), у спортсменів 2 підгрупи воно було вищим у 20-річних. У студентів обох підгруп та у спортсменів 1 підгрупи (особливо у 21-річних) після виконання дозованої фізичної роботи відзначається зниження ефективності регуляції кровотоку. У спортсменів 2 підгрупи зареєстровано покращення ефективності регуляції кровотоку за рахунок переважання активних механізмів регуляції.

Висновки.

1. Величина хвилинного об'єму крові у спортсменів-легкоатлетів була вищою, ніж у студентів у всіх вікових групах. Означений параметр після виконання дозованого фізичного навантаження демонструє тенденцію до збільшення у всіх вікових групах, як у нетренованих осіб, так і спортсменів. Втім, найбільший його приріст відзначається у спортсменів, що характеризує адаптивні пристосування їх системи кровообігу до регулярного виконання фізичної роботи.

2. Зростання хвилинного об'єму крові опосередковується величиною систолічного об'єму, котрий після дозованого навантаження збільшувався у спортсменів та студентів в усіх вікових групах різною мірою, однак, найбільше зростання спостерігалось у спортсменів, що свідчить про адаптацію серцево-судинної системи до фізичних навантажень. Таким чином, реакція серцево-судинної системи нетренованих студентів і спортсменів на фізичне навантаження свідчить про те, що у спортсменів вона працює більш економічно і ефективно.

3. Величини параметрів, які визначають мікроциркуляцію крові, суттєво відрізняється залежно від приналежності юнаків до 1 або 2 підгрупи, а отже від величини показника мікроциркуляції, тобто від рівня перфузії одиниці об'єму тканини за одиницю часу. В більшості випадків у юнаків 2 підгрупи при ДФН спостерігається покращення ефективності регуляції кровотоку за рахунок переважання активних механізмів регуляції.

Перспективи подальших досліджень.

Виявлені закономірності змін макро- та мікроциркуляції у відповідь на дозоване фізичне навантаження в залежності від ступеня тренуваності організму актуалізують проведення подальших додаткових досліджень і корекції тренувального процесу спортсменів-легкоатлетів залежно від тренуваності юнаків, навіть за наявності незначних відмінностей за їх віком.

Список використаної літератури

1. Pelliccia A., Sharma S., Gati S., Bäck M., Börjesson M., Caselli S. et al. Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. *Eur Heart J.* 2021. Vol. 42, № 1. P. 17 - 96. doi: 10.1093/eurheartj/ehaa605.
2. Campbell B. I., Norton L. Effectiveness of Diet Refeeds and Diet Breaks as a Precontest Strategy Guillermo Escalante. *Strength and Conditioning Journal.* 2020. № 3. P. 1 - 6. doi: 10.1519/SSC.0000000000000546.
3. Maden-Wilkinson T. M., Balshaw T. G., Massey G. J., Folland J. P. Muscle architecture and morphology as determinants of explosive strength. *European Journal of Applied Physiology.* 2021. № 121. P. 1099 – 1110.
4. Ghorayeb N., Stein R., Daher D. J., da Silveira A. D., Ritt L. E., dos Santos D. F., Sierra A. P. The Brazilian Society of Cardiology and Brazilian Society of Exercise and Sports Medicine Updated Guidelines for Sports and Exercise Cardiology. *Bras Cardiol.* 2019. Vol. 112, № 3. P. 326 – 368.
5. Kalabiska I., Zsakai A., Annar D., Malina R. M., Szabo T. Sport Activity Load and Skeletomuscular Robustness in Elite Youth Athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 2022. Vol. 19, № 9. P. 5083.
6. Franchi M. V., Reeves N. D., Narici M. V. Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Front Physiol.* 2017. Vol. 4, № 8. P. 447. doi: 10.3389/fphys.2017.00447.
7. Віннічук Ю. Д., Поліщук А. О., Гошовська Ю. В., Соколова О. С., Сагач В. Ф., Дроздовська С. Б. Зміни в біохімічні показники та мітохондріальний фактор крові спортсменів-любителів під впливом марафонського бігу. *Фізіологічний журнал.* 2019. Т. 65, № 5. С. 20 - 7.

8. Cuccione E., Versace A., Cho T.-H., Carone D., Berner L.-P., Ong E. et al. Multisite laser Doppler flowmetry for assessing collateral flow in experimental ischemic stroke: Validation of outcome prediction with acute MRI. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2017. Vol. 37, № 6. P. 2159 – 2170.
9. Joyner M. J., Casey D. P. Regulation of Increased Blood Flow (Hyperemia) to Muscles During Exercise: Hierarchy of Competing Physiological Needs. *Physiol Rev.* 2015. Vol. 95, № 2. P. 549 – 601.
10. Koller A., Laughlin M. H., 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: SC Working Group on Coronary Pathophysiology and Microcirculation position paper. *Cardiovasc Res.* 2022. Vol. 118, № 2. P. 357 – 371.
11. Chen R., Yang M. S., Liu C., Zhang J., Ke J., Deng Y. et al. Cardiovascular Indicators of Systemic Circulation and Acute Mountain Sickness: An Observational Cohort Study. *Front. Physiol. Environmental, Aviation and Space Physiology.* 2021. 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.708862>.
12. Brotmachbp L. American heart association. Evaluation of Derivation of Cardiac Output from Blood Pressure Measurements. 2005. <https://www.semanticscholar.org/paper/ofL-american-heart-association-evaluation-of-of-Brotmachbp/2e7046069024b328bd5a024f61d3d795e6655025>.
13. Gluckman P. D., Hanson M. A. Evolution, development and timing of puberty. Trends in endocrinology and metabolism. *TEM.* 2006. Vol. 17. № 1. P. 7 – 12. doi:10.1016/j.tem.2005.11.006.
14. Salomão L. P., Magalhães G. S., Pinho da Silva J. F. et al. Factors associated with arterial stiffness assessed by pulse pressure amplification in healthy children and adolescents: a cross-sectional study. *BMC Pediatr.* 2023. № 23. P. 154.
15. Zarebska E. A., Kusy K., Stominska E. M., Kruszyna L., Zielinski J. Alterations in Exercise-Induced Plasma Adenosine Triphosphate Concentration in Highly Trained Athletes in a One-Year Training Cycle. *Metabolites.* 2019. Vol. 9, № 10. P. 230.
16. Розова К. В., Тимошенко К. Р., Сидоряк Н. Г. Особливості мікроциркуляції крові, морфофункціонального стану капілярів та мітохондрій у м'язовій тканині при дозованому фізичному навантаженні. *Український журнал медицини, біології та спорту.* 2018. Т. 3. № 4. С. 199 - 205.

References

1. Pelliccia A., Sharma S., Gati S., Bäck M., Börjesson M., Caselli S. et al. (2021) Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. *Evr Heart J.* Vol. 42. № 1. P. 17 - 96. doi: 10.1093/eurheartj/ehaa605.
2. Campbell B. I., Norton L. (2020) Effectiveness of Diet Refeeds and Diet Breaks as a Precontest Strategy Guillermo Escalante. *Strength and Conditioning Journal.* № 3. P. 1 - 6. doi: 10.1519/SSC.0000000000000546.
3. Maden-Wilkinson T. M., Balshaw T. G., Massey G. J., Folland J. P. (2021) Muscle architecture and morphology as determinants of explosive strength. *European Journal of Applied Physiology.* № 121. P. 1099 – 1110.
4. Ghorayeb N., Stein R., Daher D. J., da Silveira A. D., Ritt L. E., dos Santos D. F., Sierra A. P. (2019) The Brazilian Society of Cardiology and Brazilian Society of Exercise and Sports Medicine Updated Guidelines for Sports and Exercise Cardiology. *Bras Cardiol.* Vol. 112. № 3. P. 326 – 368.
5. Kalabiska I., Zsakai A., Annar D., Malina R. M., Szabo T. (2022) Sport Activity Load and Skeletomuscular Robustness in Elite Youth Athletes. *Int J Environ Res Public Health.* Vol. 19. № 9. P. 5083.
6. Franchi M. V., Reeves N. D., Narici M. V. (2017) Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Front Physiol.* Vol. 4. № 8. P. 447. doi: 10.3389/fphys.2017.00447.
7. Vinnichuk Yu. D., Polishchuk A. O., Hoshovska Yu. V., Sokolova O. S., Sahach V. F., Drozdovska S. B. (2019) Zminy v biokhimichni pokaznyky ta mitokhondrialnyi faktor krovi sportsmeniv-liubyteliv pid vplyvom marafonskoho bihu. *Fiziolohichniy zhurnal.* T. 65. № 5. С. 20 - 7. [in Ukrainian].
8. Cuccione E., Versace A., Cho T.-H., Carone D., Berner L.-P., Ong E. et al. (2017) Multisite laser Doppler flowmetry for assessing collateral flow in experimental ischemic stroke: Validation of outcome prediction with acute MRI. *J Cereb Blood Flow Metab.* Vol. 37. № 6. P. 2159 – 2170.
9. Joyner M. J., Casey D. P. (2015) Regulation of Increased Blood Flow (Hyperemia) to Muscles During Exercise: Hierarchy of Competing Physiological Needs. *Physiol Rev.* Vol. 95. № 2. P. 549 – 601.
10. Koller A., Laughlin M. H., Cenko E., de Wit C., Tóth K., Bugiardini R. et al. (2022) Functional and structural adaptations of the coronary macro- and microvasculature to regular aerobic exercise by activation of physiological, cellular, and molecular mechanisms: SC Working Group on Coronary Pathophysiology and Microcirculation position paper. *Cardiovasc Res.* Vol. 118. № 2. P. 357 – 371.
11. Chen R., Yang M. S., Liu C., Zhang J., Ke J., Deng Y. et al. (2021) Cardiovascular Indicators of Systemic Circulation and Acute Mountain Sickness: An Observational Cohort Study. *Front. Physiol. Environmental, Aviation and Space Physiology.* 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.708862>.
12. Brotmachbp L. (2005) American heart association. Evaluation of Derivation of Cardiac Output from Blood Pressure Measurements. <https://www.semanticscholar.org/paper/ofL-american-heart-association-evaluation-of-of-Brotmachbp/2e7046069024b328bd5a024f61d3d795e6655025>.

13. Gluckman P. D., Hanson M. A. (2006) Evolution, development and timing of puberty. Trends in endocrinology and metabolism. *TEM*. Vol. 17. № 1. P. 7 – 12. doi:10.1016/j.tem.2005.11.006.
14. Salomão L. P., Magalhães G. S., Pinho da Silva J. F. et al. (2023) Factors associated with arterial stiffness assessed by pulse pressure amplification in healthy children and adolescents: a cross-sectional study. *BMC Pediatr*. № 23. P. 154. doi: 10.1186/s12887-023-03942-1.
15. Zarebska E. A., Kusy K., Stominska E. M., Kruszyna L., Zielinski J. (2019) Alterations in Exercise-Induced Plasma Adenosine Triphosphate Concentration in Highly Trained Athletes in a One-Year Training Cycle. *Metabolites*. Vol. 9, № 10. P. 230.
16. Rozova K. V., Tymoshenko K. R., Sydoriak N. H. (2018) Osoblyvosti mikrotyrkuliatsii krovi, morfofunktsionalnoho stanu kapiliariv ta mitokhondrii u miazovii tkanyni pry dozovanomu fizychnomu navantazheni. *Ukrainskyi zhurnal medytsyny, biolohii ta sportu*. T. 3. № 4. С. 199 - 205. [in Ukrainian].

Korman Sh.-A., Lukyantseva H. V. AGE CHANGES IN MACRO- AND MICROCIRCULATION OF BLOOD UNDER THE INFLUENCE OF DOSED PHYSICAL TRAINING DEPENDING ON THE DEGREE OF TRAINING OF THE ORGANISM

Introduction. *The formation of the reaction of circulatory system to physical exertion is determined by the features of the regulation mechanisms of central hemodynamics and blood microcirculation. It is known that peripheral blood circulation provides the basis for the normal vital activity of organs and systems, the full functioning of cellular elements under various influences on the body, including during physical exertion. However, the study of the reactivity of the microcirculatory system under the conditions of muscle activity requires a clear understanding of the mechanisms of changes in all links of the circulatory system. The data available in the modern literature indicate that the mechanisms underlying changes in the macro- and microcirculatory system after physical exertion in people of different ages and different degrees of training.*

Purpose: *to determine the characteristics of the reaction of macro- and microcirculation of blood to dosed physical activity in people of different ages and different degrees of training.*

Methods. *Peculiarities of systemic blood circulation and microcirculation during dosed physical exertion depending on the degree of training of the body were studied in men aged 18-21, trained (athletes at the level of candidates for master of sports) and untrained persons of the same age. An Ergoselect 100 bicycle ergometer (Ergoline GmbH, Ukraine) with automatic blood pressure measurement was used to simulate muscle work. Blood microcirculation (BCC) was assessed using laser Doppler flowmetry using a VLF 21 device (Trasonic System Inc., USA). Statistical processing of the obtained results was carried out using the STATISTICA 6.0 program and presented as "mean value \pm standard error of the mean" ($M \pm SEM$). The Shapiro-Wilk test was used to determine the normality of the data sampling distribution. To assess the reliability of the results, one-way ANOVA was used and the probability of differences between indicators was estimated. Differences at $p < 0.05$ were considered probable.*

Result. *It was shown that the minute volume of blood in athletes is higher than in students in all age groups. After performing dosed physical activity, this indicator increases in all age groups and in students and athletes, however, the greatest increase is noted in athletes. The increase in minute blood volume is mediated, which may indicate the adaptation of the cardiovascular system to physical exertion. That is, the cardiovascular system of athletes works more economically and efficiently.*

Conclusion. *The values of indicators that determine blood microcirculation differ significantly depending on the value of the microcirculation indicator, that is, on the level of perfusion of a unit of tissue volume per unit of time. In most cases, in young men with higher values of the microcirculation index during dosed physical exertion, there is an improvement in the efficiency of blood flow regulation due to the predominance of active regulation mechanisms.*

Key words: *dosed physical activity, cardiovascular system, macrocirculation, microcirculation, students, athletes.*

Одержано редакцією: 20.02.2024

Прийнято до публікації: 21.03.2024