

ORCID кожного автора та його внесок до статті:

Dolha Ya. V.: <https://orcid.org/0009-0002-8759-7403> ^{ABCD}

Адреса для кореспонденції

Долга Яна Вячеславівна

Національний університет фізичного виховання і спорту України

Україна, 03680, м. Київ, вул. Фізкультури 1

Тел.: +380995128121

E-mail: dolgayana@gmail.com

А – концепція роботи та дизайн, В – збір та аналіз даних, С – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, Е – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

Ця стаття розповсюджується на умовах ліцензії **Creative Commons Attribution (CC-BY)**, яка дозволяє не-обмежене використання, поширення та відтворення в будь-якому форматі за умови належного цитування оригінальної роботи © Всі автори, 2026

Стаття надійшла 21.05.2026 року

Стаття прийнята до друку 18.08.2026 року

Опубліковано 29.09.2026 року

DOI 10.29254/2077-4214-2026-3-182-449-454

УДК 612.13:612.886:796.42-053

Ширай Т. В., Пастухова В. А.

ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ ГЕМОДИНАМІЧНОЇ ВІДПОВІДІ ТА ПІСЛЯНАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ВІДНОВЛЕННЯ У СПОРТСМЕНІВ-ЛЕГКОАТЛЕТІВ ПРИ ЛІНІЙНОМУ ВЕСТИБУЛЯРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Національний університет фізичного виховання і спорту України (м. Київ, Україна)

Pastuhova_V@ukr.net

Вестибулярні навантаження є важливим чинником, здатним модифікувати функціональний стан серцево-судинної та вегетативної нервової систем спортсменів. Особливий інтерес становлять вікові відмінності механізмів гемодинамічної відповіді та характеру відновлення після припинення вестибулярного впливу. Мета – визначити вікові особливості співвідношення об'ємної та частотної складових гемодинамічної відповіді, а також характер післянавантажувального відновлення у спортсменів-легкоатлетів при лінійному вестибулярному навантаженні. Проаналізовано результати обстеження спортсменів-легкоатлетів чоловічої статі, стрибунів у довжину, розподілених на три вікові групи по 10 осіб: підлітки 14–16 років, юнаки 17–20 років та спортсмени першого зрілого віку 22–27 років. Оцінювали показники центральної гемодинаміки, периферичного судинного опору та вегетативний індекс у стані спокою, після активного і поєднаного активного та пасивного лінійного вестибулярного навантаження та у ближньому відновлювальному періоді. Додатково проведено вторинний описовий аналіз співвідношення відносних змін ударного об'єму крові та частоти серцевих скорочень (ДУО/ДЧСС). При активному навантаженні ДУО/ДЧСС становило 0,80 у підлітків, 1,36 у юнаків та 1,90 у спортсменів першого зрілого віку; при поєднаному впливі – відповідно 1,33; 1,62 та 2,47. У відновлювальному періоді показники центральної гемодинаміки поверталися до вихідного рівня в усіх групах. Водночас у підлітків зберігалася зниження діастолічного артеріального тиску на 12,5%, загального периферичного опору на 7% та питомого периферичного опору на 12,5%, а також зміни вегетативного індексу. Таким чином, зі збільшенням віку спортсменів зростає внесок об'ємної складової гемодинамічної відповіді. Для підлітків характерна більш виражена гетерохронність відновлення центральної гемодинаміки, периферичного судинного русла та вегетативної регуляції.

Ключові слова: вестибулярне навантаження, гемодинаміка, спортсмени, вікові особливості, відновлення.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Робота виконана в рамках науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України «Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (номер державної реєстрації 0121U108187).

Вступ.

Вестибулярна система традиційно розглядається як одна з провідних сенсорних систем, що забезпечує просторову орієнтацію, підтримання рівноваги та координацію рухів [1]. Водночас її функціональне значення не обмежується реалізацією вестибулоокулярних і вестибулоспінальних реакцій. Подразнення вестибулярного апарату супроводжується комплексом соматичних і вегетативних реакцій, у формуван-

ні яких беруть участь серцево-судинна та автономна нервова системи. Особливого значення ці механізми набувають у спорті, де зміни положення тіла, прискорення та гальмування поєднуються зі значним фізичним навантаженням [2]. У спортсменів-легкоатлетів такі впливи виникають у процесі розбігу, відштовхування, польоту та приземлення, що створює додаткові вимоги до механізмів нагальної адаптації організму.

Одним із механізмів взаємодії вестибулярної та серцево-судинної систем є вестибулосимпатичний рефлекс. Сучасні дослідження показують, що сигнали від отолітових органів, які сприймають лінійне прискорення, здатні модулювати симпатичну нервову активність і брати участь у регуляції судинного тону та артеріального тиску [3]. Експериментальні дослідження у людей підтвердили, що як гальванічне подразнення вестибулярного апарату, так і фізіологічна лінійна стимуляція можуть змінювати симпатичний вихід до судин скелетних м'язів і шкіри [3].

У сучасних уявленнях вестибулосимпатичні реакції розглядаються як компонент випереджальної, або feed-forward, регуляції кровообігу. На відміну від барорефлекторних механізмів, які реагують на вже сформовані зміни артеріального тиску, вестибулярні аферентні сигнали можуть завчасно включати механізми перерозподілу кровотоку при зміні положення тіла та прискоренні. Вестибулярні аференти через вестибулярні ядра взаємодіють зі структурами стовбура мозку, зокрема ростральною вентролатеральною ділянкою довгастого мозку, яка є важливою ланкою формування симпатичного вазомоторного виходу [4].

Для спортивної фізіології особливе значення має не лише величина гострої серцево-судинної реакції на навантаження, але й спосіб її забезпечення. Фізіологічна адаптація серцево-судинної системи спортсменів включає зміни частоти серцевих скорочень, ударного і хвилинного об'єму крові, периферичного судинного опору та автономної регуляції [5]. При цьому оцінювання реакції організму після припинення навантаження може бути не менш інформативним, ніж показники, зареєстровані безпосередньо під час його виконання. Сучасні підходи до моніторингу спортсменів розглядають характер автономного та серцево-судинного відновлення як один із показників адаптації до тренувального впливу.

Вік є додатковим фактором, здатним впливати на функціонування вестибулярної системи та характер сенсорної відповіді. Показано, що чутливість до лінійних і кутових вестибулярних стимулів змінюється з віком, що супроводжується відмінностями в обробці вестибулярної інформації та постуральному контролі [6, 7]. Для спортсменів цей аспект набуває особливого значення, оскільки вікове становлення механізмів регуляції поєднується з формуванням довготривалої адаптації до систематичних тренувальних навантажень.

Разом із тим аналіз наукової літератури свідчить, що більшість досліджень вестибулярно-серцево-судинних взаємодій виконано у здорових неспортивних контингентів або з використанням гальванічної вестибулярної стимуляції. Значно менше робіт присвячено реакції спортсменів на фізіологічне лінійне вестибулярне навантаження, а дані щодо його віко-

вих особливостей у легкоатлетів залишаються обмеженими. У вихідному дослідженні також було відзначено недостатність даних щодо вікових особливостей вегетативної регуляції серцево-судинної системи легкоатлетів при вестибулярних впливах.

Недостатньо з'ясованим залишається і питання, за рахунок якого компонента – частотного чи об'ємного – переважно формується гемодинамічна відповідь у спортсменів різного віку, а також чи синхронно відновлюються після припинення вестибулярного навантаження центральна гемодинаміка, периферичне судинне русло та вегетативна регуляція. Саме аналіз співвідношення цих компонентів може дати додаткову інформацію про вікове становлення механізмів адаптації та економізації серцево-судинної діяльності.

Мета дослідження.

Визначити вікові особливості співвідношення об'ємної та частотної складових гемодинамічної відповіді у спортсменів-легкоатлетів при лінійному вестибулярному навантаженні та оцінити характер післянавантажувального відновлення центральної гемодинаміки, периферичного судинного русла і вегетативної регуляції.

Об'єкт і методи дослідження.

Для аналізу, представленого у роботі, використано результати обстеження 30 спортсменів-легкоатлетів чоловічої статі, які спеціалізувалися у стрибках у довжину, по 10 осіб у кожній віковій групі. Спортсмени мали кваліфікацію від I дорослого розряду до майстра спорту України. Усі обстежені були практично здоровими та належали до основної медичної групи. Розподіл за віком здійснювали відповідно до етапів онтогенезу: I група – підлітки віком 14–16 років (n=10); II група – юнаки 17–20 років (n=10); III група – спортсмени першого зрілого віку 22–27 років (n=10).

Дослідження проводили у змагальному періоді підготовки спортсменів. За дизайном воно передбачало повторну оцінку функціональних показників у кількох станах: у спокої; після активного лінійного вестибулярного навантаження; після поєданого пасивного та активного вестибулярного навантаження; у близькому відновлювальному періоді через 15–30 хв після припинення навантаження. Активне вестибулярне навантаження створювалося під час виконання спортсменами звичних тренувальних рухів, які супроводжувалися різноспрямованими лінійними прискореннями та гальмуваннями. Для моделювання пасивного лінійного вестибулярного навантаження використовували спеціальну рухому платформу. Платформа переміщувалася протягом 20 с зі швидкістю 3 м/с зі зміною напрямку руху на протилежний кожні 2 с. Пасивний вплив застосовували перед активним тренувальним вестибулярним навантаженням як короткочасне прекодиційальне подразнення.

Функціональний стан серцево-судинної системи оцінювали методами електрокардіографії, тетраполярної грудної реографії та полікардіографії. Для реєстрації показників центральної гемодинаміки застосовували реографічний комплекс «РЕОКОМ Професіонал» (ХАІ-Медіка, Україна), який забезпечував синхронну реєстрацію реографічних, електрокардіографічних та фонокардіографічних сигналів, формування диференціальних реограм та автоматичне ви-

ключення артефактних ділянок запису. Тетраполяру грудну реографію виконували за методом W. Kubicek у модифікації Ю.Т. Пушкаря.

Усі дослідження проводили з дотриманням принципів Конвенції Ради Європи «Про захист прав людини і людської гідності у зв'язку із застосуванням досягнень біології та медицини: Конвенція про права людини та біомедицину» (ETS №164) та положень Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації. Усі учасники надали письмову інформовану згоду на участь у дослідженні.

Статистичну обробку первинних результатів проводили за допомогою програм Microsoft Excel 2003 та Origin 8.0. Нормальність розподілу перевіряли за критерієм Шапіро–Уїлка. Кількісні показники представляли як середнє арифметичне та стандартну похибку середнього ($M \pm m$). Для оцінки відмінностей застосовували t-критерій Стюдента; статистично значущими вважали відмінності при $p < 0,05$. Для оцінки взаємозв'язків між показниками використовували коефіцієнт кореляції Пірсона (r).

Для цієї роботи додатково проведено вторинний описовий аналіз гемодинамічної відповіді. Відносний внесок об'ємної та частотної складових оцінювали за співвідношенням:

$$\Delta UO / \Delta ЧСС$$

де ΔUO – відносна зміна ударного об'єму крові порівняно зі станом спокою, %; $\Delta ЧСС$ – відносна зміна частоти серцевих скорочень порівняно зі станом спокою, %. Значення показника понад 1 характеризувало переважання відносного приросту UO над приростом $ЧСС$.

Окремо оцінювали характер післянавантажувального відновлення шляхом зіставлення показників центральної гемодинаміки, периферичного судинного опору та вегетативного індексу у ближньому відновлювальному періоді з вихідними значеннями у стані спокою. Оскільки вторинний аналіз $\Delta UO / \Delta ЧСС$ виконано на основі агрегованих групових даних, для цього розрахункового співвідношення окрему перевірку статистичної значущості не проводили, а результати використовували як описову характеристику структури гемодинамічної відповіді.

Результати дослідження та їх обговорення.

Аналіз гемодинамічної відповіді показав, що в усіх вікових групах вестибулярне навантаження супроводжувалося збільшенням частоти серцевих скорочень та ударного об'єму крові (табл.). За даними первинного дослідження, $ЧСС$ після активного навантаження зростала у підлітків на 15%, у юнаків – на 22%, у спортсменів першого зрілого віку – на 10%; при послідовному пасивному та активному впливі – відповідно на 9, 21 та 15%. Такі зміни не виходили за межі нормотонічного типу реакції серцево-судинної системи.

Більш виразні вікові відмінності були встановлені при аналізі ударного об'єму крові. У стані спокою UO становив $57,3 \pm 4,7$ мл у підлітків, $52,9 \pm 4,2$ мл у юнаків та $58,4 \pm 5,1$ мл

у спортсменів першого зрілого віку. Після активного вестибулярного навантаження UO становив відповідно $65,0 \pm 5,0$; $68,9 \pm 2,2$ та $70,3 \pm 6,1$ мл. У юнаків і спортсменів першого зрілого віку зміни були статистично значущими порівняно зі станом спокою ($p < 0,05$).

Після послідовного пасивного та активного вестибулярного навантаження величина UO збільшувалася до $67,4 \pm 3,1$ мл у підлітків, $71,9 \pm 3,2$ мл у юнаків та $81,1 \pm 3,9$ мл у спортсменів першого зрілого віку; у всіх трьох групах ці зміни були статистично значущими порівняно зі станом спокою ($p < 0,05$).

Для поглибленої оцінки характеру гемодинамічної відповіді було проведено вторинний описовий аналіз співвідношення відносного приросту UO до відносного приросту $ЧСС$. Відносну зміну UO розраховували за абсолютними середніми груповими значеннями, наведеними для стану спокою та після відповідного навантаження.

Отримані результати демонструють вікову тенденцію до збільшення внеску об'ємної складової у формування гемодинамічної відповіді. Після активного навантаження співвідношення $\Delta UO / \Delta ЧСС$ становило 0,90 у підлітків, 1,37 у юнаків та 2,04 у спортсменів першого зрілого віку. Отже, у підлітків приріст UO був дещо меншим за відносне збільшення $ЧСС$, тоді як у старших групах збільшення ударного об'єму перевищувало приріст частоти серцевих скорочень.

Ще більш виражено ця закономірність проявлялася після поєднаного пасивного та активного вестибулярного навантаження: співвідношення $\Delta UO / \Delta ЧСС$ зростало до 1,96 у підлітків, 1,71 у юнаків і 2,59 у спортсменів першого зрілого віку. Найвищого значення показник досягав у старшій віковій групі, де відносний приріст ударного об'єму крові більш ніж у 2,5 рази перевищував приріст $ЧСС$.

Такий характер змін може свідчити про вікове становлення більш економного механізму гемодинамічного забезпечення навантаження [8–10]. У старших спортсменів збільшення системного кровотоку більшою мірою забезпечувалося за рахунок об'ємного компонента роботи серця, тоді як у молодших спортсменів відносний внесок частотного механізму був більшим.

Додатковий пасивний вестибулярний вплив змінював структуру гемодинамічної реакції в усіх вікових групах. Особливо показовою була реакція підлітків: при активному навантаженні співвідношення $\Delta UO / \Delta ЧСС$ було меншим за одиницю, тоді як після додавання пасивного компонента воно наближалося до 2. Це може вказувати на модифікацію механізму гемодинамічної відповіді у напрямку більшого використання ударного об'єму крові. Разом з тим отримані дані самі по собі не дозволяють розглядати цей

Таблиця – Співвідношення об'ємної та частотної складових гемодинамічної відповіді спортсменів різного віку

Вікова група	Вид навантаження	UO у спокої, мл, $M \pm m$	UO після навантаження, мл, $M \pm m$	ΔUO , %	$\Delta ЧСС$, %	$\Delta UO / \Delta ЧСС$
Підлітки	Активне	$57,3 \pm 4,7$	$65,0 \pm 5,0$	13,4	15	0,90
Підлітки	Пасивне + активне	$57,3 \pm 4,7$	$67,4 \pm 3,1^*$	17,6	9	1,96
Юнаки	Активне	$52,9 \pm 4,2$	$68,9 \pm 2,2^*$	30,2	22	1,37
Юнаки	Пасивне + активне	$52,9 \pm 4,2$	$71,9 \pm 3,2^*$	35,9	21	1,71
Перший зрілий вік	Активне	$58,4 \pm 5,1$	$70,3 \pm 6,1^*$	20,4	10	2,04
Перший зрілий вік	Пасивне + активне	$58,4 \pm 5,1$	$81,1 \pm 3,9^*$	38,9	15	2,59

Примітки: * – $p < 0,05$ порівняно зі станом спокою.

ефект як доказ кардіопротекції; коректніше говорити про можливий прекодиційовальний або модифікуючий вплив пасивної вестибулярної стимуляції.

Зміни насосної функції серця супроводжувалися перебудовою периферичної гемодинаміки. У підлітків загальний та питомий периферичний опір знижувалися після активного навантаження на 33,2 та 34,7% відповідно, а після поєднаного впливу – на 8 та 9%. У юнаків зменшення ЗПО і ППО становило відповідно 13 і 9% після активного та 13 і 11% після поєднаного навантаження. У спортсменів першого зрілого віку статистично значущі зміни були менш системними: ЗПО знижувався на 20% при поєднаному впливі, а ППО – на 22% після активного навантаження.

Показник тону артерій достовірно знижувався в усіх вікових групах саме після послідовного пасивного та активного навантаження: у підлітків – на 12,5%, у юнаків – на 29,2%, у спортсменів першого зрілого віку – на 14,3%. Це дозволяє припустити, що збільшення УО при комбінованому впливі відбувалося одночасно зі зниженням судинного опору, тобто за умов сприятливішого гемодинамічного навантаження на серце.

Особливе значення мали результати ближнього відновлювального періоду. Через 15–30 хв після припинення навантаження статистично значущі відмінностей основних фаз серцевого циклу від вихідного стану у жодній віковій групі не виявляли. Хвилинний об'єм крові та серцевий індекс також поверталися до рівня стану спокою.

Водночас периферична гемодинаміка у підлітків відновлювалася повільніше. У цій групі у ближньому відновлювальному періоді ЗПО залишався нижчим від вихідного рівня на 7%, а ППО – на 12,5%. У юнаків обидва показники поверталися до вихідних значень. У підлітків також зберігалася зниження діастолічного артеріального тиску на 12,5%, тоді як систолічний тиск у всіх групах достовірно не відрізнявся від стану спокою.

Зіставлення цих змін з вегетативною регуляцією підтвердило різну швидкість відновлення окремих функціональних ланок. Вихідні значення V.I. знижувалися з віком і становили 52,3 ум. од. у підлітків, 13,7 ум. од. у юнаків та –1,6 ум. од. у спортсменів першого зрілого віку. Після активного навантаження у підлітків V.I. зменшувався на 46,2%, у юнаків достовірно не змінювався, а у спортсменів першого зрілого віку суттєво зростав. Після поєднаного впливу реакція також залежала від віку.

У відновлювальному періоді у юнаків та спортсменів першого зрілого віку V.I. повертався до вихідних величин, тоді як у підлітків зміни показника зберігалися. Таким чином, у наймолодшій групі спостерігалася гетерохронність післянавантажувального відновлення: на момент нормалізації показників насосної функції серця та центральної гемодинаміки периферичний судинний опір і вегетативна регуляція ще не повністю поверталися до вихідного стану.

Сукупність отриманих даних дозволяє припустити, що вікові особливості адаптації до лінійного вестибулярного навантаження проявляються не лише величиною окремих гемодинамічних показників, але й структурою відповіді та часовою організацією відновлення. Для спортсменів першого зрілого віку характерне найбільше переважання об'ємної складової гемодинамічної відповіді, тоді як у підлітків більш вираженою є тривалість периферичних і вегетативних змін після припинення навантаження.

Висновки.

У спортсменів-легкоатлетів виявлено вікові особливості структури гемодинамічної відповіді на лінійне вестибулярне навантаження: зі збільшенням віку зростає відносний внесок ударного об'єму крові порівняно з частотою серцевих скорочень, а найбільше переважання об'ємної складової встановлено у спортсменів першого зрілого віку після послідовного пасивного та активного впливу ($\Delta\text{УО}/\Delta\text{ЧСС} = 2,59$). Абсолютні значення УО при цьому зростали з $58,4 \pm 5,1$ до $81,1 \pm 3,9$ мл ($p < 0,05$).

Післянавантажувальне відновлення мало віково-залежний і гетерохронний характер: у всіх групах через 15–30 хв відновлювалися основні показники фазової структури серцевого циклу та центральної гемодинаміки, тоді як у підлітків зберігалися зміни периферичного судинного опору та вегетативного індексу. Отримані результати можуть бути використані для диференційованої оцінки адаптаційних можливостей спортсменів різного віку та обґрунтування контролю відновлення після навантажень, що містять виражений вестибулярний компонент.

Перспективи подальших досліджень.

Вивчення вікових особливостей гемодинамічної та вегетативної відповіді спортсменів на різні за інтенсивністю, тривалістю та напрямком вестибулярні навантаження із розширенням кількості обстежених і залученням спортсменів різної спортивної спеціалізації. Доцільним є поєднання показників центральної та периферичної гемодинаміки з сучасними неінвазивними методами оцінки автономної регуляції, зокрема аналізом варіабельності серцевого ритму, а також проведенням кількох послідовних вимірювань у відновлювальному періоді для визначення часу повної нормалізації центральних, судинних і вегетативних показників.

Окремий напрям подальших досліджень може бути присвячений перевірці можливого модифікуючого або прекодиційовального ефекту пасивного вестибулярного впливу перед основним тренувальним навантаженням. У наявному дослідженні додавання пасивної складової супроводжувалося збільшенням УО та змінами судинного тону, однак для підтвердження причинно-наслідкового характеру цього ефекту необхідні спеціально сплановані контрольовані дослідження.

Література

- Allred AR, Lippert AF, Wood SJ. Galvanic Vestibular Stimulation Advancements for Spatial Disorientation Training. *Aerosp Med Hum Perform.* 2024;95(7):390-398. DOI: <https://doi.org/10.3357/amhp.6362.2024>
- Crang ZL, Hewitt A, Scott TJ, Kelly VG, Johnston RD. Relationship Between Preseason Training Load, Match Performance, and Match Activities in Professional Rugby League. *J Strength Cond Res.* 2022;36(9):2581-2588. DOI: <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003891>
- Macefield VG, James C. Superentrainment of muscle sympathetic nerve activity during sinusoidal galvanic vestibular stimulation. *J Neurophysiol.* 2016;116(6):2689-2694. DOI: <https://doi.org/10.1152/jn.00036.2016>

4. Guyenet PG, Stornetta RL. Rostral ventrolateral medulla, retropontine region and autonomic regulations. *Auton Neurosci*. 2022;237:102922. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2021.102922>
5. Sobreira L, Aiello EA, Contreras P. Mechanisms of Endothelial Dysfunction and Cardiovascular System Adaptation. *Curr Vasc Pharmacol*. 2022;20(3):201-204. DOI: https://doi.org/10.2174/157016112003220825112_123
6. Pastukhova VA, Shyray TV. Vplyv vestibulyarno-sensornoho navantazhennya na vehetatyvni reaktsiyi. *Visnyk problem biolohiyi i medytsyny*. 2024;4(175):91-102. DOI: <http://dx.doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-91-102> [in Ukrainian].
7. Pastukhova VA, Shyray TV. Dynamika zmin vehetatyvnogo indeksu u sport-smeniv pry vestibulyarnomu navantazhenni. *Visnyk Cherkaskoho universytetu*. 2025;1:55-63. DOI: <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-55-63> [in Ukrainian].
8. Redfield MM, Borlaug BA. Heart Failure With Preserved Ejection Fraction: A Review. *JAMA*. 2023;329(10):827-838. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2023.2020>
9. Bardin J, Maciejewski H, Diry A, Droit-Volet S, Thomas C, Ratel S. Sex- and age-related differences in the rating of perceived exertion after high-intensity rowing exercise during childhood and adolescence. *Psychophysiology*. 2023;60(8):e14296. DOI: <https://doi.org/10.1111/psyp.14296>
10. Stjernbrandt A, Öhrner P, Tornevi A, Öhlin J, Abtahi F, Lewis C, et al. Perceived physical exertion in senior workers performing heavy manual tasks. *Ann Work Expo Health*. 2026;70(5):wxag054. DOI: <https://doi.org/10.1093/annweh/wxag054>

ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ ГЕМОДИНАМІЧНОЇ ВІДПОВІДІ ТА ПІСЛЯНАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ВІДНОВЛЕННЯ У СПОРТСМЕНІВ-ЛЕГКОАТЛЕТІВ ПРИ ЛІНІЙНОМУ ВЕСТИБУЛЯРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Ширай Т. В., Пастухова В. А.

Резюме. Вестибулярне навантаження є важливим компонентом рухової діяльності спортсменів, особливо у видах спорту, що супроводжуються багаторазовими лінійними прискореннями, гальмуваннями та змінами положення тіла. Реакція серцево-судинної системи на такий вплив формується внаслідок взаємодії центральної гемодинаміки, периферичного судинного русла та вегетативної регуляції. Водночас недостатньо з'ясованими залишаються вікові особливості співвідношення частотного та об'ємного компонентів гемодинамічної відповіді, а також швидкість відновлення окремих функціональних ланок після припинення вестибулярного навантаження. Мета роботи – визначити вікові особливості співвідношення об'ємної та частотної складових гемодинамічної відповіді у спортсменів-легкоатлетів при лінійному вестибулярному навантаженні та оцінити характер післянавантажувального відновлення центральної гемодинаміки, периферичного судинного русла і вегетативної регуляції.

Проаналізовано результати обстеження 30 спортсменів-легкоатлетів чоловічої статі, які спеціалізувалися у стрибках у довжину. Учасників розподілено на три групи по 10 осіб: підлітки віком 14–16 років, юнаки 17–20 років та спортсмени першого зрілого віку 22–27 років. Функціональні показники оцінювали у стані спокою, після активного лінійного вестибулярного навантаження, після послідовного пасивного та активного впливу та через 15–30 хв у ближньому відновлювальному періоді. Використовували електрокардіографію, тетраполярну грудну реографію, полікардіографію, визначали частоту серцевих скорочень, ударний і хвилинний об'єми крові, серцевий індекс, загальний і питомий периферичний опір судин, показник тонуусу артерій та вегетативний індекс. Додатково проведено вторинний описовий аналіз співвідношення відносного приросту ударного об'єму крові до приросту частоти серцевих скорочень – ДУО/ДЧСС.

Після активного вестибулярного навантаження показник ДУО/ДЧСС становив 0,90 у підлітків, 1,37 у юнаків та 2,04 у спортсменів першого зрілого віку, що відображало поступове збільшення внеску об'ємного компонента гемодинамічної відповіді. Після послідовного пасивного та активного впливу співвідношення становило відповідно 1,96; 1,71 та 2,59, досягаючи максимального значення у спортсменів першого зрілого віку. У цій групі ударний об'єм крові збільшувався з 58,4±5,1 до 81,1±3,9 мл ($p<0,05$). Через 15–30 хв після припинення навантаження основні показники фазової структури серцевого циклу, хвилинний об'єм крові та серцевий індекс поверталися до вихідних значень у всіх групах. Водночас у підлітків зберігалося зниження діастолічного артеріального тиску на 12,5%, загального периферичного опору судин на 7% та питомого периферичного опору на 12,5%, а також залишкові зміни вегетативного індексу.

Вікові особливості адаптації спортсменів до лінійного вестибулярного навантаження проявляються як структурою гемодинамічної відповіді, так і характером післянавантажувального відновлення. Найбільше переважання об'ємної складової встановлено у спортсменів першого зрілого віку, тоді як для підлітків характерна більш виражена гетерохронність відновлення центральної гемодинаміки, периферичного судинного русла та вегетативної регуляції. Отримані результати можуть бути використані при диференційованому контролі адаптації та відновлення спортсменів різного віку.

Ключові слова: вестибулярне навантаження, гемодинаміка, спортсмени, вікові особливості, відновлення.

AGE-RELATED FEATURES OF HEMODYNAMIC RESPONSE AND POST-EXERCISE RECOVERY IN TRACK AND FIELD ATHLETES UNDER LINEAR VESTIBULAR LOADING

Shiray T. V., Pastukhova V. A.

Abstract. Vestibular loading is an important component of athletic activity, particularly in sports involving repeated linear accelerations, decelerations, and rapid changes in body position. The cardiovascular response to such stimulation results from the interaction between central hemodynamics, peripheral vascular regulation, and autonomic nervous system activity. However, age-related differences in the relative contribution of heart rate and stroke volume to the hemodynamic response, as well as the temporal pattern of recovery of individual cardiovascular and autonomic components after vestibular loading, remain insufficiently understood. Aim – to determine age-related features of the relationship between the volumetric and frequency components of the hemodynamic response in track and field athletes exposed to linear vestibular loading and to assess post-exercise recovery of central hemodynamics, peripheral vascular regulation, and autonomic function.

The study included data from 30 male track and field athletes specializing in the long jump. The participants were divided into three age groups of 10 athletes each: adolescents aged 14–16 years, young athletes aged 17–20 years, and athletes of the first mature age period aged 22–27 years. Cardiovascular parameters were evaluated at rest, after active linear vestibular loading, after sequential passive and active vestibular stimulation, and during the early recovery period 15–30 minutes after loading. Electrocardiography, tetrapolar thoracic rheography, and polycardiography were used. Heart rate, stroke volume, cardiac output, cardiac index, total and specific peripheral vascular resistance, arterial tone, and the vegetative index were assessed. A secondary descriptive analysis was additionally performed using the ratio between the relative changes in stroke volume and heart rate ($\Delta SV/\Delta HR$). Since this index was calculated from aggregated group data, no separate inferential statistical testing was performed for the ratio.

After active vestibular loading, the $\Delta SV/\Delta HR$ ratio was 0.90 in adolescents, 1.37 in young athletes, and 2.04 in athletes of the first mature age period, indicating an increasing contribution of the volumetric component of the cardiovascular response with age. Following sequential passive and active vestibular loading, the corresponding ratios were 1.96, 1.1, and 2.59, with the highest value observed in the oldest group. In athletes of the first mature age period, stroke volume increased from 58.4 ± 5.1 to 81.1 ± 3.9 mL ($p < 0.05$). During the early recovery period, the main cardiac cycle phase parameters, cardiac output, and cardiac index returned to baseline levels in all age groups. In contrast, adolescents demonstrated persistent peripheral and autonomic changes: diastolic blood pressure remained 12.5% below baseline, total peripheral vascular resistance 7% below baseline, and specific peripheral vascular resistance 12.5% below baseline. Changes in the vegetative index also persisted in this group, whereas in the two older groups it returned toward resting values.

Age-related differences in adaptation to linear vestibular loading are manifested not only in the magnitude of cardiovascular changes but also in the structure of the hemodynamic response and the temporal organization of recovery. Athletes of the first mature age period demonstrated the greatest predominance of the stroke-volume component, whereas adolescents showed more pronounced heterochrony between recovery of central hemodynamics, peripheral vascular regulation, and autonomic function. These findings may be useful for age-specific monitoring of adaptation and post-exercise recovery in athletes.

Key words: vestibular loading, hemodynamics, athletes, age-related features, recovery.

ORCID кожного автора та його внесок до статті:

Shiray T. V.: <https://orcid.org/0009-0008-8452-9767> ^{ABCD}

Pastukhova V. A.: <https://orcid.org/0000-0002-4091-913X> ^{AEF}

Конфлікт інтересів:

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Адреса для кореспонденції

Пастухова Вікторія Анатоліївна
Національний університет фізичного виховання і спорту України
Україна, 03680, м. Київ, вул. Фізкультури 1
Тел.: +380661752387
E-mail: Pastuhova_V@ukr.net

A – концепція роботи та дизайн, **B** – збір та аналіз даних, **C** – відповідальність за статичний аналіз, **D** – написання статті, **E** – критичний огляд, **F** – остаточне затвердження статті.

Ця стаття розповсюджується на умовах ліцензії **Creative Commons Attribution (CC-BY)**, яка дозволяє необмежене використання, поширення та відтворення в будь-якому форматі за умови належного цитування оригінальної роботи © Всі автори, 2026

Стаття надійшла 09.05.2026 року
Стаття прийнята до друку 17.08.2026 року
Опубліковано 29.09.2026 року