

ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ СЕРЦЕВОГО РИТМУ ЯК МАРКЕР ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ТА АВТОНОМНОГО СТАТУСУ ОРГАНІЗМУ В УМОВАХ СТАТИКО-ДИНАМІЧНИХ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Вовканич Любомир Степанович,

кандидат біологічних наук, доцент,
завідувач кафедри анатомії та фізіології

Львівського державного університету фізичної культури імені Івана Боберського

ORCID ID: 0000-0002-6642-6368

Scopus ID: 6506858642

Web of Science Researcher ID: GLN-6084-2022

Виноградський Богдан Анатолійович,

доктор наук з фізичного виховання і спорту, професор

Львівського державного університету фізичної культури імені Івана Боберського

ORCID ID: 0000-0002-4417-2811

Scopus ID: 56239795200

Web of Science Researcher ID: AAT-7936-2021

Іккерт Оксана Володимирівна,

кандидат біологічних наук, доцент

Львівського національного університету імені Івана Франка

ORCID ID: 0000-0002-4893-7340

Scopus ID: 6506610956

Web of Science Researcher ID: CUY-9012-2022

Бичкова Соломія Володимирівна,

доктор біологічних наук, доцент

Львівського національного університету імені Івана Франка

ORCID ID: 0000-0002-5107-3352

Scopus ID: 8426419400

Web of Science Researcher ID: EPF-1060-2022

Король Тетяна Валеріївна,

кандидат біологічних наук, доцент

Львівського національного університету імені Івана Франка

ORCID ID: 0000-0003-4533-9772

Scopus ID: 59129665600

У статті досліджено варіабельність серцевого ритму (BCP) як маркер функціонального стану та автономного статусу організму в умовах статико-динамічних фізичних навантажень на прикладі стрільби з лука. Метою роботи було проаналізувати особливості адаптаційних змін автономної нервової системи у висококваліфікованих лучників під час виконання ізометричних навантажень та оцінити індивідуальну динаміку вегетативної регуляції впродовж тренування.

У дослідженні взяли участь 19 спортсменів (КМС–МС) віком 18–20 років. Реєстрацію серцевого ритму проводили в польових умовах під час стрільби на дистанції 70 м. Аналіз BCP здійснювали за допомогою програмного забезпечення «Kubios HRV Standard» із використанням часових, спектральних та нелінійних показників. Для оцінки кумулятивного впливу навантаження додатково проаналізовано індивідуальну динаміку показників BCP у десяти спортсменів упродовж годинного тренування.

Встановлено, що виконання стрільби супроводжується помірною тахікардією та зміщенням автономного балансу у бік симпатичної активації. Значення SDNN утримувалися в межах фізіологічної норми (48–52 мс), що свідчить про економізацію функцій серцево-судинної системи. Показники RMSSD та rNN_{50} були зниженими порівняно з умовами спокою, однак їх абсолютні значення ($RMSSD > 25$ мс) вказують на збереження мінімально необхідного рівня парасимпатичного контролю. Співвідношення LF/HF становило $2,86 \pm 1,6$ у жінок та $2,78 \pm 1,3$ у чоловіків, а індекс напруження відповідав стану оптимальної функціональної мобілізації. Статистично значущих статевих відмінностей у показниках BCP не виявлено ($p > 0,05$).

© Вовканич Л. С., Виноградський Б. А., Іккерт О. В., Бичкова С. В., Король Т. В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу (CC BY 4.0)



За результатами аналізу індивідуальної динаміки виділено три типи автономних адаптаційних реакцій: парасимпатичний зсув, функціональна стабільність та регуляторне напруження з ознаками автономної втоми. Найбільш інформативними маркерами розвитку втоми визначено індекс напруження, LF/HF, HF% та ентропію вибірки.

Отримані результати підтверджують доцільність використання аналізу ВСР для персоналізованого контролю адаптації лучників до статико-динамічних фізичних навантажень.

Ключові слова: частота серцевих скорочень, автономна нервова система, варіабельність серцевого ритму, ізометричне навантаження, індивідуальні адаптаційні стратегії.

Vovkanych Lyubomyr, Vynogradskyi Bogdan, Ikkert Oksana, Solomiia Bychkova, Korol Tetiana. Heart rate variability as a marker of functional state and autonomic status of the body under static–dynamic physical loads

This study investigates heart rate variability (HRV) as an integral marker of functional state and autonomic status under static–dynamic physical loads, using archery as a model sport. The aim of the study was to analyze adaptive changes in the autonomic nervous system of highly qualified archers during isometric exercise and to assess individual dynamics of autonomic regulation throughout a training session.

Nineteen elite athletes (Candidates for Master of Sport and Masters of Sport), aged 18–20 years, participated in the study. Heart rate was recorded under field conditions during shooting at a distance of 70 m. HRV analysis was performed using Kubios HRV Standard software and included time-domain, frequency-domain, and non-linear parameters. To evaluate the cumulative effects of training load, individual HRV dynamics were additionally analyzed in ten athletes during a one-hour training session.

The results demonstrated that shooting performance was accompanied by moderate tachycardia and a shift in autonomic balance toward sympathetic predominance. SDNN values remained within the physiological range (48–52 ms), indicating cardiovascular functional efficiency and training-related economization. RMSSD and pNN₅₀ values were reduced compared with resting conditions; however, their absolute levels (RMSSD > 25 ms) suggest preservation of the minimal required parasympathetic control. The LF/HF ratio was 2.86±1.6 in women and 2.78±1.3 in men, while the stress index reflected a state of optimal functional mobilization. No statistically significant sex-related differences in HRV parameters were observed ($p > 0.05$).

Analysis of individual HRV dynamics revealed three distinct types of autonomic adaptive responses: parasympathetic shift, functional stability, and regulatory strain with signs of autonomic fatigue. The most informative markers of fatigue development were identified as the stress index, LF/HF ratio, HF%, and sample entropy.

The findings confirm the applicability of HRV analysis for personalized monitoring of adaptation and fatigue control in archers exposed to static–dynamic physical loads.

Key words: heart rate, autonomic nervous system, heart rate variability; isometric loads, individual adaptive strategies.

Вступ. На сучасному етапі розвитку фізіології та спортивної медицини аналіз варіабельності серцевого ритму (ВСР) розглядається як фундаментальний метод оцінки адаптаційних можливостей організму. Показники ВСР слугують інтегральними індикаторами стану регуляторних систем, відображаючи здатність усіх систем організму підтримувати гомеостаз в умовах екзогенних та ендогенних навантажень [1]. Динаміка ВСР під час фізичної активності знаходиться у фокусі багатьох досліджень [2–4], які вказують на загальні тренди та відмінності у змінах показників ВСР за умови навантажень різної інтенсивності та тривалості. ВСР рекомендовано для моніторингу адаптації та відновлення спортсменів у польових умовах [5]. Різноманітні параметри ВСР, зокрема RMSSD, SDNN, pNN₅₀, SD₂/SD₁ та інші використовуються для ідентифікації погіршення функціональних можливостей організму в процесі розвитку втоми та під час відновлення після фізичних навантажень [6–9]. Водночас аналіз літературних джерел вказує на обмежену кількість публікацій, які висвітлюють зміни ВСР у стрільців з лука.

Фізичні навантаження у стрільбі з лука характеризуються специфічним статико-динамічним режимом роботи та вираженим впливом на опорно-руховий апарат верхньої ланки тіла. Інтенсивність навантаження визначає сила натягу лука, основні навантаження припадають на м'язи верхньої частини тіла [10]. Оскільки процес утримання лука під час прицілювання є статичним, важливою складовою тренувального процесу є ізометричні навантаження, сила скорочення у яких досягає 70% від максимальної довільної ізометричної сили [11].

Існують дані про певний гендерний диморфізм у відповіді на навантаження. Чоловіки демонструють вищий рівень стабільності рухів, що детерміновано більшою м'язовою масою [12], а жінки частіше застосовують компенсаторні стратегії, зокрема демонструють більшу ротацію та розгинання тулуба [10]. Досягнення високих результатів у стрільбі з лука вимагає чіткої координації нервово-м'язової системи та оптимального рівня автономного балансу. Надмірна симпатична активація супроводжується зростанням ЧСС, підвищенням м'язового тону та посиленням фізіологічного тремору, що може негативно впливати на точність стрільби. Водночас надмірна парасимпатична домінанта може бути асоційована зі зниженням рівня мобілізації та уповільненням сенсомоторних реакцій.

Дослідженню змін ЧСС та ВСР у стрільців з лука присвячено лише кілька робіт. Дослідження Clemente et al. (2011) вказують, що досвідчені атлети характеризуються нижчими значеннями ЧСС (87 уд./хв) порівняно з початківцями (94 уд./хв), що може вказувати адаптивні зміни автономного статусу [13]. За даними вітчизняних фахівців [14], стрільба супроводжується помірною тахікардією (94–141 уд./хв). На думку Guru et al. (2020) ключовою ознакою елітної спортивної майстерності є феномен зміни серцевого ритму безпосередньо перед випуском стріли [15]. Іншими авторами виявлено кілька моделей зміни ЧСС під час пострілу, хоча найчастіше наявне поступове зниження ЧСС у фазі прицілювання з наступним відновленням упродовж 3–5 секунд після пострілу [14]. На противагу цьому, відсутність уповільнення або зростання ЧСС часто інтерпретується як оз-

нака надмірного м'язового напруження або порушення фази утримання тятиви.

Аналіз ВСР підтверджує, що висока точність стрільби асоціюється з домінуванням парасимпатичної активності (вагусного тону). Успішні лучники характеризуються вищими показниками RMSSD та HF, що зумовлює швидке відновлення в інтервалах між пострілами [16]. Водночас інші автори вказують на підвищення активності LF під час стрільби, що пов'язують зі здатністю краще контролювати дихальний цикл [17]. Вони встановили, що в елітних лучників під час змагання показники RMSSD та pNN_{50} значно зростають порівняно з початковими значеннями. В межах однієї серії пострілів автономний тонус лучника постійно змінюється. Carrillo et al. (2011) зафіксували, що у досвідчених спортсменів рівень LF поступово знижується від першої до третьої стріли в серії, тоді як величина HF зростає [17]. Це вказує на прогресуюче підвищення парасимпатичного тону упродовж виконання серії. Існують також дані, що у реальній стрільбі спостерігається зростання ЧСС на 32,5% паралельно з підвищенням показника RMSSD [18]. Важливу роль відіграє сомато-вісцеральна взаємодія, коли інтенсивне м'язове напруження корелює з гальмуванням вегетативних функцій у фазі прицілювання [14]. Таким чином, питання адаптації автономної нервової системи лучників до тренувальних та змагальних навантажень мало досліджене та містить окремі суперечливі моменти. Хоча на сьогодні наявні публікації, що вказують на гендерні відмінності ВСР у молодих осіб [19] та спортсменів окремих спеціалізацій [20–21], серед лучників це питання залишається невивченим.

Тому метою нашої роботи було проаналізувати особливості адаптаційних змін автономного статусу під час виконання ізометричних навантажень на прикладі стрільби з лука.

Матеріали та методи. У дослідженні взяли участь 19 лучників високої спортивної кваліфікації (КМС–МС) віком 18–20 років. Дослідження проводили в польових умовах під час стрільби на дистанції 70 м. Реєстрацію серцевого ритму усіх учасників виконували упродовж однієї серії пострілів. Для вивчення індивідуальної динаміки показників ВСР упродовж тривалого навантаження вивчали показники десяти лучників упродовж тренування тривалістю 1 год. Проведення дослідження відповідало вимогам Гельсінської декларації щодо етичних стандартів у роботі з людьми, а також базувалося на ключових біоетичних засадах, викладених у Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину [22–23].

ВСР реєстрували за допомогою пульсометрів «Polar 800 RS», аналізували з допомогою програмного забезпечення «Kubios HRV Standard» (version 3.5.0). Застосовували обробку «Smoothness priors detrending» (500; 0,035 Hz) [24] для зменшення впливу трендів. Визначали такі показники: ЧСС (HR) – частота серцевих скорочень; SNS Index – індекс симпатичної активності; PNS Index – індекс парасимпатичної активності; SDNN – стандартне відхилення NN-інтервалів; pNN_{50} – відсоток послідовних NN-інтервалів, що різняться більш ніж

на 50 мс; RMSSD – квадратний корінь із середнього квадрата різниць послідовних NN-інтервалів; RR triangular index – трикутний індекс RR-інтервалів; Stress Index (SI) – індекс напруження; Total power – загальна потужність спектра; VLF – дуже низькочастотна компонента; LF – низькочастотна компонента; HF – високочастотна компонента; LF% – відносна потужність низькочастотної компоненти; HF% – відносна потужність високочастотної компоненти; SD_1 – показник короткочасної варіабельності (вісь X у діаграмі Пуанкаре); SD_2 – показник довготривалої варіабельності (вісь Y у діаграмі Пуанкаре); SD_2/SD_1 – співвідношення довготривалої до короткочасної варіабельності; SampEn (Sample Entropy) – ентропія вибірки.

Отримані значення обробляли з використанням загальноприйнятих статистичних методів за допомогою програмного пакета «JASP 0.95.1». Перевірку нормальності розподілу даних проводили за допомогою критерію Шапіро–Вілка. Для порівняння показників між групами чоловіків та жінок було використано непараметричний U-критерій Манна–Вітні та розрахунок коефіцієнта g Хеджеса (Hedges' g) з метою визначення величини ефекту (Effect Size). Для оцінювання значущості впливу на показники ВСР тренувальних навантажень між першими та останніми трьома серіями використовували коефіцієнт Коена (Cohen's d).

Результати дослідження. Встановлено, що динаміка вегетативної регуляції серцевого ритму під час виконання серій пострілів у чоловіків та жінок має односпрямований характер (табл. 1). Статистичне порівняння не виявило значущих розбіжностей ($p > 0,05$) у жодному з досліджуваних параметрів ВСР між статевими групами (табл. 1), що свідчить про ідентичність адаптаційних стратегій до специфічного навантаження у стрільбі з лука.

Середні значення частоти серцевих скорочень (ЧСС) під час стрільби вказують на помірну тахікардію, зумовлену станом психоемоційної мобілізації та статичним компонентом навантаження. Показник SDNN більшості учасників утримувався у межах фізіологічної норми (48–52 мс), що свідчить про високий рівень тренуваності та економізацію функцій серцево-судинної системи атлетів [25–26]. Показники, що характеризують активність парасимпатичної ланки (RMSSD та pNN_{50}), виявилися суттєво зниженими відносно базових значень спокою (40–44 мс та 12–15% відповідно) [25]. Коефіцієнт симпато-вагусного балансу LF/HF склав $6,49 \pm 3,62$ у жінок та $5,68 \pm 2,11$ у чоловіків, що підтверджує зміщення регуляції в бік домінування симпатичного відділу автономної нервової системи (АНС) під час тренувальних навантажень. Індекс напруження (Stress Index, SI) відповідає стану помірного функціонального напруження («стан мобілізації»), що є оптимальним для виконання точних координаційних завдань. Значення SNS Index (2,35 одиниць) та PNS Index (–1,951 та –1,90) кількісно підтверджують формування симпатикотонічного профілю регуляції.

Відсутність статевого диморфізму у вегетативних реакціях елітних лучників вказує на те, що багаторіч-

Статистичне порівняння параметрів серцевого ритму лучників та лучниць (n = 19) під час стрільби

Показники	Жінки (n = 9)		Чоловіки (n = 10)		Mann-Whitney		Hedges' g	
	M	SD	M	SD	U	p	Effect Size	SE Effect Size
ЧСС серед., уд./хв	95,44	10,70	93,70	11,16	46,5	0,935	-0,033	0,266
ЧСС макс., уд./хв	119,89	8,89	120,60	13,95	43	0,902	0,044	0,266
ЧСС мин., уд./хв	69,44	10,65	64,80	12,21	54	0,485	-0,2	0,266
Max-Min, уд./хв	47,56	10,17	55,80	16,17	31	0,269	0,311	0,266
SNS Index, ум. од.	2,35	0,69	2,35	0,94	44	0,791	-0,086	0,273
PNS Index, ум. од.	-1,95	0,25	-1,90	0,69	39	0,93	0,037	0,273
SDNN, мс	60,79	16,61	61,81	23,10	48	0,842	-0,067	0,266
pNN ₅₀ , %	6,85	4,99	7,96	8,57	51	0,661	-0,133	0,266
RMSSD, мс	29,83	8,82	27,26	11,72	62	0,182	-0,378	0,266
RR tr.ind., ум. од.	14,01	3,97	13,43	2,33	53	0,549	-0,178	0,266
SI, ум. од.	10,15	1,94	9,58	3,47	43	0,824	-0,075	0,274
Total power, мс ²	3899,78	2137,88	5050,70	3851,10	39	0,661	0,133	0,266
VLF, мс ²	1437,78	1640,60	1323,00	1198,48	41	0,78	0,089	0,266
LF, мс ²	2124,33	2140,22	3064,20	3191,22	40	0,72	0,111	0,266
HF, мс ²	337,67	280,26	661,10	893,44	40	0,72	0,111	0,266
VLF, %	8,04	5,35	8,68	4,59	13,5	0,855	0,1	0,35
LF/HF, ум. од.	6,49	3,62	5,68	2,11	43	0,905	0,044	0,266
LF, %	77,57	9,50	76,71	6,05	14	0,931	0,067	0,35
HF, %	14,30	6,86	14,57	4,17	14	0,931	0,067	0,35
SD ₁ , мс	20,31	6,95	20,49	8,06	44	0,796	-0,086	0,273
SD ₂ , мс	83,30	23,42	85,38	15,17	40	0,001	0,012	0,273
SD ₁ /SD ₂ , ум. од.	4,35	1,45	4,65	1,67	34	0,605	0,16	0,273

Примітка: Порівняння груп проведено за допомогою U-критерію Манна-Вітні; рівень значущості прийнято при $p < 0,05$; величина ефекту (Effect Size) розрахована за Hedges' g з корекцією на малу вибірку; SE — стандартна помилка величини ефекту.

ний тренувальний процес нівелює типові біологічні відмінності в роботі автономної нервової системи. Встановлений рівень ВСР свідчить про формування специфічного «коридору адаптації», де помірна активація симпатичної системи забезпечує необхідну концентрацію уваги, а збереження певного рівня вагусного контролю (RMSSD > 25 мс) дозволяє уникати тремору та підтримувати високу стабільність випуску стріли.

Аналіз індивідуальної динаміки (табл. 2) показників ВСР десятих лучників упродовж годинного тренування дозволив диференціювати вибірку лучників на три функціональні групи (рис. 1) за характером автономної адаптації до тренувального навантаження.

До другої групи віднесено двох спортсменів (рис. 1б), чий автономний статус характеризувався функціональною стійкістю. У цих атлетів спостерігався помірний приріст SI (до 19%), зниження RMSSD (на 20-40%) та досить значне збільшення симпато-вагусного балансу LF/HF (на 20-40%). Це може трактуватись як збереження помірно підвищеного симпатичного тону та висока резистентність до кумулятивного впливу навантаження без ознак зриву адаптації.

Третю групу сформували чотири спортсмени (рис. 1в та 1г), у яких виявлено ознаки регуляторного напруження та автономної втоми. Характерною особливістю цієї групи є висока фізіологічна ціна підтримання результативності стрільби. У більшості спостерігається значне підвищення SI (до 75%) та симпато-вагусного балансу LF/HF (до 157%), в окремих випадках – на фоні зменшення складності ритму (SampEn

знижується на 31,5%). Особливої уваги заслуговує парадоксальна реакція, продемонстрована на рис. 1г, де зростання індексу напруження поєднувалося з підвищенням HF-компонента (на 8,3%). Такий паттерн може інтерпретуватись як включення механізмів «захисного гальмування», де організм намагається компенсувати центральне регуляторне навантаження через посилення дихального каналу вагусної модуляції.

Виявлена неоднорідність адаптивних стратегій підкреслює необхідність персоналізованого підходу до контролю розвитку втоми у лучників, де найбільш інформативними маркерами втоми виступають показники SI, HF%, LF/HF та SampEn.

Отримані результати свідчать, що виконання тренувального навантаження у стрільбі з лука на дистанції 70 м характеризується помірною активацією симпатичного відділу автономної нервової системи на тлі збереження базових механізмів парасимпатичного контролю. Подібний тип автономної відповіді є характерним для видів спорту з домінуванням статико-динамічних навантажень і високими вимогами до точності рухів та психоемоційної стабільності [26]. Відсутність статистично значущих відмінностей між чоловіками та жінками за всіма показниками варіабельності серцевого ритму узгоджується з даними окремих попередніх досліджень [27-28] та свідчить про формування уніфікованих адаптаційних стратегій незалежно від статі.

Збереження показника SDNN у межах фізіологічної норми на тлі підвищеної ЧСС розглядається як маркер економізації функцій серцево-судинної системи у підго-

Індивідуальні особливості вегетативних реакцій лучників на тренувальне навантаження

Учасник	Зміни, Cohen's d	Показники ВСП							
		HR	SDNN	RMSSD	SI	LF%	HF%	LF/HF	SampEn
1	$\Delta\%$	-4,20	17,57	24,57	-19,50	-14,62	72,47	-52,61	-11,65
	[d]	0,82	1,07	1,03	1,87	0,46	1,62	0,82	0,76
2	$\Delta\%$	-2,29	28,88	43,15	-19,28	-10,99	36,88	-44,29	-29,00
	[d]	0,82	1,95	3,50	2,23	0,22	1,40	0,20	3,67
3	$\Delta\%$	-1,54	15,33	34,69	-18,36	1,15	15,52	-19,36	-0,52
	[d]	0,07	1,63	0,66	0,32	0,56	0,49	0,54	0,99
4	$\Delta\%$	5,05	14,34	20,44	-8,64	5,50	-17,33	-32,26	-18,36
	[d]	0,07	1,63	0,66	0,32	0,56	0,49	0,54	0,99
5	$\Delta\%$	10,61	-4,78	-30,88	3,32	22,98	-61,51	157,48	-36,96
	[d]	4,31	0,18	0,29	0,02	0,06	1,48	2,48	2,23
6	$\Delta\%$	0,81	-11,06	-38,26	6,72	15,18	-35,93	40,62	-7,79
	[d]	0,14	1,36	0,82	0,33	0,56	0,45	0,24	0,34
7	$\Delta\%$	9,87	-15,55	-20,66	18,60	10,91	-5,00	22,80	-8,94
	[d]	1,23	0,65	0,48	0,56	1,46	0,01	0,37	1,31
8	$\Delta\%$	-1,12	-19,17	-2,42	27,15	-6,60	50,05	-22,89	18,47
	[d]	0,12	0,81	0,29	1,02	0,73	0,08	0,76	2,09
9	$\Delta\%$	8,99	-31,81	-25,40	36,30	14,26	-7,46	20,51	11,93
	[d]	1,63	2,70	1,36	1,99	1,08	0,04	0,63	0,82
10	$\Delta\%$	18,56	-53,08	-62,20	74,61	10,84	-27,03	51,40	9,85
	[d]	0,43	1,05	4,29	3,01	0,36	1,35	0,79	0,51

Примітка: $\Delta\%$ – зміни показників у відсотках порівняно з початковим значенням, d – коефіцієнт Коена.

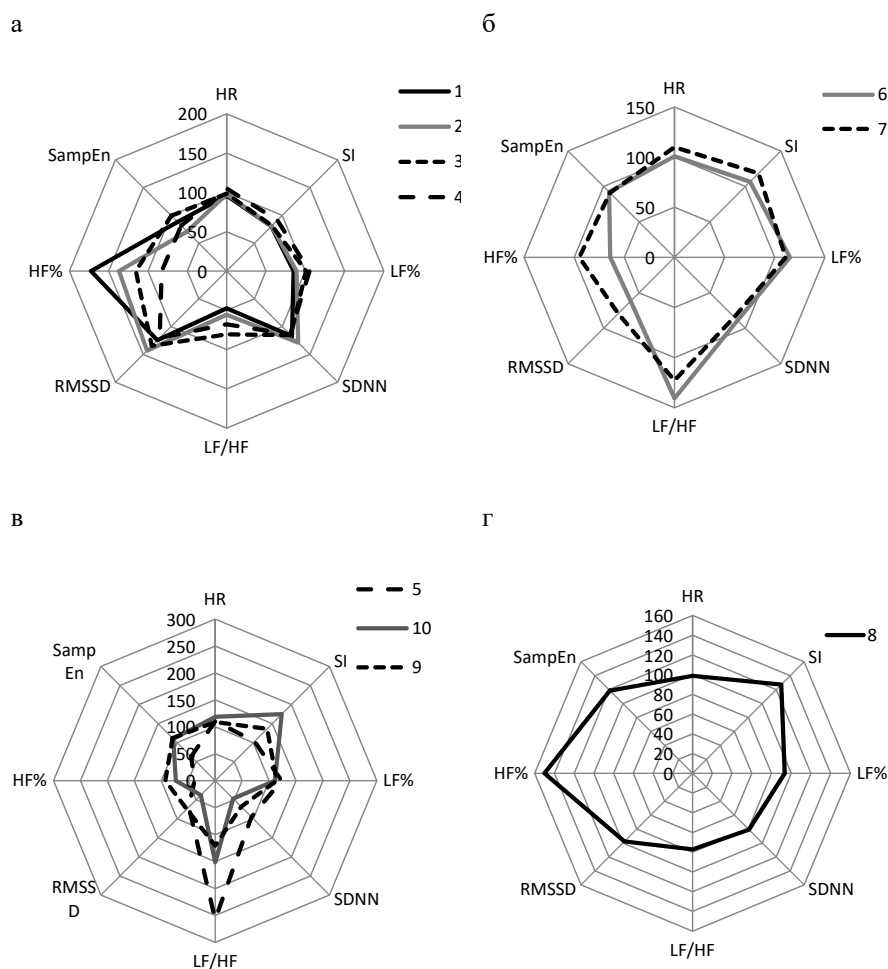


Рис. 1. Типологія змін автономного балансу лучників у відповідь на тренувальне навантаження. Зміни показників ВСП вказані у відсотках. Розподіл на групи: а – оптимальна адаптація, б – функціональна стійкість, в і г – напруження регуляторних систем та втома. На рисунках вказані індивідуальні номери учасників дослідження

товлених спортсменів [25]. Зниження RMSSD та pNN_{50} відображає пригнічення вагусних впливів та зміщення автономного балансу у бік симпатичної активації. Водночас абсолютні значення RMSSD (>25 мс) свідчать про збереження мінімально необхідного рівня парасимпатичного контролю, що є критично важливим для стабілізації рухових патернів і зменшення тремору при виконанні точних дій [29–30]. Підвищені значення LF/HF підтверджує формування симпатикотонічного профілю регуляції, що є оптимальним для реалізації складних сенсомоторних завдань за умови відсутності надмірного зростання індексу напруження [24; 31].

Важливим результатом дослідження є виявлення вираженої індивідуальної варіабельності автономних реакцій, що дозволило виділити три типи адаптаційних стратегій. Результати дослідження підтверджують високу інформативність аналізу варіабельності серцевого ритму для оцінювання функціонального стану осіб під час тренувань та обґрунтовують доцільність використання індивідуалізованого підходу до контролю адаптації до статико-динамічних навантажень.

Основним обмеженням нашого дослідження є невелика вибірка та вузький віковий діапазон учас-

ників, що може впливати на узагальненість отриманих результатів.

Висновки

1. Встановлено ідентичність адаптаційних змін автономного балансу організму осіб обох статей під час виконання статико-динамічних фізичних навантажень у стрільбі з лука, що підтверджується відсутністю статистично значущих розбіжностей у показниках ВСР.

2. Ізометричні фізичні навантаження у лучників супроводжується симпатикотонічними змінами автономного балансу (зокрема зростанням LF/HF та SI), що є фізіологічним забезпеченням стану мобілізації та концентрації уваги.

3. На основі аналізу ВСР виявлено кілька типів адаптаційних реакцій регуляторних систем організму лучників під час виконання ними статико-динамічних навантажень. Найбільш інформативними маркерами втими виступають показники SI, HF%, LF/HF та SampEn.

4. Перспективи подальших розвідок у цьому напрямку полягають у аналізі індивідуальних особливостей термінових адаптаційних реакцій автономної нервової системи у паузах між серіями пострілів.

Література:

1. Лісун Ю. Б., Углев Є. І. Heart rate variability, applying and methods of analysis. *Pain, anaesthesia and intensive care*. 2020. No. 4(93). P. 83–89. DOI: [https://doi.org/10.25284/2519-2078.4\(93\).2020.220693](https://doi.org/10.25284/2519-2078.4(93).2020.220693)
2. Effects of different exercise interventions on heart rate variability and cardiovascular health factors in older adults: a systematic review / В. Grässler et al. *European review of aging and physical activity*. 2021. Vol. 18, no. 1. 24. DOI: <https://doi.org/10.1186/s11556-021-00278-6>
3. Aubert A. E., Seps B., Beckers F. Heart rate variability in athletes. *Sports medicine*. 2003. Vol. 33, no. 12. P. 889–919. DOI: <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>
4. Factors that affect heart rate variability following acute resistance exercise: a systematic review and meta-analysis / S. U. Marasingha-Arachchige et al. *Journal of sport and health science*. 2022. Vol. 11, no. 3. P. 376–392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.11.008>
5. Monitoring training adaptation and recovery status in athletes using heart rate variability via mobile devices: a narrative review / M. R. Esco et al. *Sensors*. 2026. Vol. 26, no. 1. P. 3. DOI: <https://doi.org/10.3390/s26010003>
6. Georgieva-Tsaneva G., Lebamovski P., Tsanev Y.-A. Impact of prolonged high-intensity training on autonomic regulation and fatigue in track and field athletes assessed via heart rate variability. *Applied sciences*. 2025. Vol. 15, no. 19. 10547. DOI: <https://doi.org/10.3390/app151910547>
7. Ni Z., Sun F., Li Y. Heart rate variability-based subjective physical fatigue assessment. *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 9. P. 3199. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22093199>
8. Editorial: new perspectives and insights on heart rate variability in exercise and sports / J. L. Storniolo et al. *Frontiers in sports and active living*. 2025. Vol. 7. 1574087. DOI: <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1574087>
9. Kao P.-C., Cornell D. J. Effects of induced physical fatigue on heart rate variability in healthy young adults. *Sensors*. 2025. Vol. 25, no. 17. 5572. DOI: <https://doi.org/10.3390/s25175572>
10. The impact of draw weight on archers' posture and injury risk through motion capture analysis / X. Ji et al. *Applied sciences*. 2025. Vol. 15, no. 2. 879. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15020879>
11. Isometric training and long-term adaptations: effects of muscle length, intensity, and intent: a systematic review / D. J. Oranchuk et al. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2019. Vol. 29, no. 4. P. 484–503. DOI: <https://doi.org/10.1111/sms.13375>
12. An ergonomics analysis of archers through motion tracking to prevent injuries and improve performance / X. Ji et al. *Sensors*. 2024. Vol. 24, no. 6. 1862. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24061862>
13. Study of the heart rate and accuracy performance of archers / F. Clemente et al. *Journal of physical education and sport*. 2011. Vol. 11, no. 4. P. 434–437. URL: https://efsupit.ro/images/stories/imgs/JPES/2011/12/10Art_66.pdf
14. Вовканич Л., Виноградський Б., Коваль І. Моделі сомато-вісцелярної взаємодії під час виконання пострілу з лука. *Спортивна наука України*. 2015. № 2(66). С. 9–16. URL: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/9694>
15. Heart rate values during shooting is a field-side performance analysis tool in archery—a study of elite indian archers / C. S. Guru et al. *International journal of sport studies for health*. 2020. Vol. 3, no. 1. e99687. DOI: <https://doi.org/10.5812/intjssh.99687>
16. Autonomic cardiac activity among novice archers during baseline, shooting, and recovery / S. Tok et al. *Journal of strength and conditioning research*. 2020. Vol. 34, no. 9. P. 2627–2635. DOI: <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002640>

17. Autonomic nervous system modulation during an archery competition in novice and experienced adolescent archers / A. E. Carrillo et al. *Journal of sports sciences*. 2011. Vol. 29, no. 9. P. 913–917. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.568514>
18. Comparison of heart rate variability psychological responses and performance in virtual and real archery / N. Dal et al. *Brain and behavior*. 2024. Vol. 14, no. 10. e70070. DOI: <https://doi.org/10.1002/brb3.70070>
19. Ляшенко В. П., Дуванов Д. С. Сучасні дослідження вікових особливостей варіабельності серцевого ритму: теоретичні аспекти. *Слобожанський науковий вісник. Серія: природничі науки*. 2024. № 1. С. 25–32. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2024.1.3>
20. Influence of training volume on heart rate variability in race-walking athletes. / F. Belaid et al. *Journal of sport science technology and physical activities*, 2025. Vol. 22, no. 2. P. 230–249. URL: <https://revue.univ-mosta.dz/index.php/jstpa/article/view/1133>
21. Differences in heart rate variability and baroreflex sensitivity between male and female athletes / M. A. Shafiq et al. *Journal of clinical medicine*. 2023. Vol. 12, no. 12. 3916. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm12123916>
22. Council of Europe. Convention for protection of human rights and dignity of the human being with regard to the application of biology and biomedicine: convention on human rights and biomedicine. *Kennedy institute of ethics journal*. 1997. Vol. 7, no. 3. P. 277–290. DOI: <https://doi.org/10.1353/ken.1997.0021>
23. World Medical Association. Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *Jama*. 2013. Vol. 310, no. 20. P. 2191–2194. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>
24. Tarvainen M. P., Lipponen J. A., Kuoppa P. Analysis and preprocessing of hrv-kubios HRV software. *ECG time series variability analysis*. 2017. P. 28–46. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315372921-7>
25. Brozat M., Böckelmann I., Sammito S. Systematic review on HRV reference values. *Journal of cardiovascular development and disease*. 2025. Vol. 12, no. 6. 214. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcdd12060214>
26. Nunan D., Sandercock G. R. H., Brodie D. A. A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing and clinical electrophysiology*. 2010. Vol. 33, no. 11. P. 1407–1417. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x>
27. Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome?. *Frontiers in physiology*. 2014. Vol. 5. 73 DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
28. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring / D. J. Plews et al. *Sports medicine*. 2013. Vol. 43, no. 9. P. 773–781. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>
29. Shaffer F., Ginsberg J. P. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in public health*. 2017. Vol. 5. 258. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
30. Laborde S., Mosley E., Thayer J. F. Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research – recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in psychology*. 2017. Vol. 8. 213. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
31. Stress and heart rate variability: a meta-analysis and review of the literature / H.-G. Kim et al. *Psychiatry investigation*. 2018. Vol. 15, no. 3. P. 235–245. DOI: <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>

References:

1. Lisun, Yu. B., & Uhlev, Ye. I. (2020). Heart rate variability, applying and methods of analysis. *Pain, Anaesthesia and Intensive Care*, 4(93), 83–89. DOI: [https://doi.org/10.25284/2519-2078.4\(93\).2020.220693](https://doi.org/10.25284/2519-2078.4(93).2020.220693) [in Ukrainian].
2. Grässler, B., Thielmann, B., Böckelmann, I., & Hökelmann, A. (2021). Effects of different exercise interventions on heart rate variability and cardiovascular health factors in older adults: A systematic review. *European Review of Aging and Physical Activity*, 18(1), 24. DOI: <https://doi.org/10.1186/s11556-021-00278-6>
3. Aubert, A. E., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33(12), 889–919. DOI: <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>
4. Marasingha-Arachchige, S. U., Rubio-Arias, J. A., Alcaraz, P. E., & Chung, L. H. (2022). Factors that affect heart rate variability following acute resistance exercise: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*, 11(3), 376–392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.11.008>
5. Esco, M. R., Fields, A. D., Mohammadnabi, M. A., & Kliszczewicz, B. M. (2026). Monitoring training adaptation and recovery status in athletes using heart rate variability via mobile devices: A narrative review. *Sensors*, 26(1), 3. DOI: <https://doi.org/10.3390/s26010003>
6. Georgieva-Tsaneva, G., Lebamovski, P., & Tsanev, Y.-A. (2025). Impact of prolonged high-intensity training on autonomic regulation and fatigue in track and field athletes assessed via heart rate variability. *Applied Sciences*, 15(19), 10547. DOI: <https://doi.org/10.3390/app151910547>
7. Ni, Z., Sun, F., & Li, Y. (2022). Heart rate variability-based subjective physical fatigue assessment. *Sensors*, 22(9), 3199. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22093199>
8. Storniolo, J. L., Correale, L., Buzzachera, C. F., & Peyré-Tartaruga, L. A. (2025). Editorial: New perspectives and insights on heart rate variability in exercise and sports. *Frontiers in Sports and Active Living*, 7, 1574087. DOI: <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1574087>
9. Kao, P.-C., & Cornell, D. J. (2025). Effects of induced physical fatigue on heart rate variability in healthy young adults. *Sensors*, 25(17), 5572. DOI: <https://doi.org/10.3390/s25175572>
10. Ji, X., Al Tamimi, Z., Gao, X., & Piovesan, D. (2025). The impact of draw weight on archers' posture and injury risk through motion capture analysis. *Applied Sciences*, 15(2), 879. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15020879>

11. Oranchuk, D. J., Storey, A. G., Nelson, A. R., & Cronin, J. B. (2019). Isometric training and long-term adaptations: Effects of muscle length, intensity, and intent: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(4), 484–503. DOI: <https://doi.org/10.1111/sms.13375>
12. Ji, X., Miller, J., Gao, X., Al Tamimi, Z., Arzalluz, I., & Piovesan, D. (2024). An ergonomics analysis of archers through motion tracking to prevent injuries and improve performance. *Sensors*, 24(6), 1862. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24061862>
13. Clemente, F., Couceiro, M., Rocha, R., & Mendes, R. (2011). Study of the heart rate and accuracy performance of archers. *Journal of Physical Education and Sport*, 11(4), 434–437. URL: https://efsupit.ro/images/stories/imgs/JPES/2011/12/10Art_66.pdf
14. Vovkanych, L., Vynogradskyi, B., & Koval, I. (2015). Modeli somato-vistseralnoi vzaïemodii pid chas vykonannia postrilu z luka [The models of somato-visceral interaction during the archery shot]. *Sport Science of Ukraine*, 2(66), 9–16. URL: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/9694> [in Ukrainian]
15. Guru, C. S., Krishnan, A., Mahajan, U., & Sharma, D. (2020). Heart rate values during shooting is a field-side performance analysis tool in archery—a study of elite indian archers. *International Journal of Sport Studies for Health*, 3(1), e99687. DOI: <https://doi.org/10.5812/intjssh.99687>
16. Tok, S., Dal, N., Zekioglu, A., Çatıkkaş, F., Balıkcı, İ., & Doğan, E. (2020). Autonomic Cardiac Activity Among Novice Archers During Baseline, Shooting, and Recovery. *Journal of strength and conditioning research*, 34(9), 2627–2635. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002640>
17. Carrillo, A. E., Christodoulou, V. X., Koutedakis, Y., & Flouris, A. D. (2011). Autonomic nervous system modulation during an archery competition in novice and experienced adolescent archers. *Journal of Sports Sciences*, 29(9), 913–917. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.568514>
18. Dal, N., Tok, S., Balıkcı, İ., Yılmaz, S. E., & Binboğa, E. (2024). Comparison of heart rate variability psychological responses and performance in virtual and real archery. *Brain and Behavior*, 14(10), e70070. DOI: <https://doi.org/10.1002/brb3.70070>
19. Liashenko, V. P., & Duvanov, D. S. (2024). Modern research on age-related differences in heart rate variability. Suchasni doslidzhennia vikovykh osoblyvostey variabelnosti sertsevoho rytmu: teoretychni aspekty [Modern research on age-related differences in heart rate variability]. *Slobozhanskyi naukovyi visnyk. Seriia: Pryrodnychi nauky*, (1), 25–32. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2024.1.3>
20. Belaid, F., Nabila, T., Mokhtar, B., & Fayçal, R. (2025). Influence of training volume on heart rate variability in race-walking athletes. *Journal of Sport Science Technology and Physical Activities*, 22(2), 230–249. URL: <https://revue.univ-mosta.dz/index.php/jsstpa/article/view/1133>
21. Shafiq, M. A., Ellingson, C. A., Krätzig, G. P., Dorsch, K. D., Neary, J. P., & Singh, J. (2023). Differences in heart rate variability and baroreflex sensitivity between male and female athletes. *Journal of Clinical Medicine*, 12(12), 3916. <https://doi.org/10.3390/jcm12123916>
22. Council of Europe. (1997). Convention for protection of human rights and dignity of the human being with regard to the application of biology and biomedicine: Convention on human rights and biomedicine. *Kennedy Institute of Ethics Journal*, 7(3), 277–290. DOI: <https://doi.org/10.1353/ken.1997.0021>
23. World Medical Association. (2013). Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>
24. Tarvainen, M. P., Lipponen, J. A., & Kuoppa, P. (2017). Analysis and preprocessing of HRV–Kubios HRV software. In: *ECG time series variability analysis* (p. 28–46). CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315372921-7>
25. Brozat, M., Böckelmann, I., & Sammito, S. (2025). Systematic review on HRV reference values. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, 12(6), 214. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcdd12060214>
26. Nunan, D., Sandercock, G. R. H., & Brodie, D. A. (2010). A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 33(11), 1407–1417. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x>
27. Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 73. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
28. Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773–781. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>
29. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, 5, 258. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
30. Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research – recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in Psychology*, 8, 213. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
31. Kim, H.-G., Cheon, E.-J., Bai, D.-S., Lee, Y. H., & Koo, B.-H. (2018). Stress and heart rate variability: A meta-analysis and review of the literature. *Psychiatry Investigation*, 15(3), 235–245. DOI: <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>

Дата першого надходження статті до видання: 12.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 10.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 08.05.2026