

Використання нейрофізіологічних показників для оптимізації інтенсивності тренувальних навантажень у боксі

Примак Ілля

Опубліковано	Секція	УДК
27.10.2025	Освіта/Педагогіка	796.83:612.821:612.172

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17457741>

Ліцензовано за умовами Creative Commons BY 4.0 International license

Анотація. У сучасному спорті, зокрема в боксі, зростає потреба у використанні об'єктивних нейрофізіологічних індикаторів для контролю тренувальних навантажень та запобігання перевтомі спортсменів. Традиційні підходи, що базуються на оцінці частоти серцевих скорочень чи суб'єктивних показників втоми, не відображають глибинних механізмів адаптації нервової системи. У статті обґрунтовано наукові засади застосування електроенцефалографічних (ЕЕГ), кардіо вегетативних (HRV) та сенсомоторних показників як надійних біомаркерів функціонального стану спортсменів-боксерів. Особливу увагу приділено динаміці нейрофізіологічних реакцій організму на навантаження різної інтенсивності та їхньому зв'язку з техніко-тактичною результативністю. Наукова новизна полягає в розробленні узагальненої моделі оптимізації тренувальних навантажень у боксі, що інтегрує дані нейрофізіологічного моніторингу в процес планування та корекції тренувальної діяльності. Запропонована модель дає змогу персоналізувати тренувальний процес, підтримувати оптимальний баланс між навантаженням і відновленням, підвищувати адаптаційний потенціал нервової системи та запобігати перетренованості. Результати дослідження мають практичне значення для тренерів, спортивних лікарів і науковців, оскільки відкривають нові можливості для впровадження нейрофізіологічного підходу до тренувального процесу.

Ключові слова: нейрофізіологічний моніторинг, активність мозку, автономна регуляція, інтенсивність тренувань, функціональний стан, баланс відновлення, оптимізація результативності, єдиноборства, адаптація спортсменів.

Use of Neurophysiological Indicators to Optimize the Intensity of Training Loads in Boxing

Abstract. In modern sports, particularly in boxing, there is an increasing need to use objective neurophysiological indicators to monitor training loads and prevent athlete overtraining. Traditional approaches based on heart rate assessment or subjective fatigue indicators fail to reflect the deeper processes of nervous system adaptation that determine motor coordination, concentration, and overall performance efficiency. The study substantiates the scientific foundations of using electroencephalographic (EEG), heart rate variability (HRV), and sensorimotor indicators as reliable biomarkers of the functional state of boxers during different training phases.

¹ бакалавр права, тренер з боксу, Showtime Boxing, 6817 Balboa Blvd B, Лейк-Бальбоа, Каліфорнія, 91406, США, illia.prymak@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-4463-6156>

The aim of the article is to justify the use of neurophysiological monitoring data for optimizing the intensity of boxing training loads and to design a generalized model for their integration into training planning and correction. The research methodology combines theoretical analysis, generalization of previous studies, and conceptual modeling, which ensured the integrity and scientific validity of the proposed framework.

The results demonstrate that neurophysiological indicators objectively reflect the adaptive responses of the central and autonomic nervous systems to high-intensity exercises. EEG and HRV parameters make it possible to identify fatigue, evaluate recovery, and individualize training intensity. The developed optimization model integrates the monitoring of α - and β -wave ratios, HRV values, and sensorimotor reaction time to ensure balance between workload and recovery.

The scientific novelty lies in the creation of an adaptive model of training management in boxing that combines neurophysiological and traditional physiological indicators, thus enabling a personalized and evidence-based approach to athletic preparation. The practical significance of the study is that it offers coaches, sports physicians, and researchers new opportunities for the implementation of neurophysiological diagnostics in real-time training management and the prevention of overtraining in combat sports.

Keywords: neurophysiological monitoring, brain activity, autonomic regulation, training intensity, functional state, recovery balance, performance optimization, combat sports, athlete adaptation.

Вступ

Сучасний бокс є одним із найбільш інтенсивних і комплексних видів спорту, де результативність спортсмена визначається не лише рівнем фізичної підготовленості, а й здатністю центральної нервової системи ефективно регулювати моторні, сенсорні та когнітивні процеси під впливом високих навантажень. Традиційні методи контролю тренувального процесу, такі як реєстрація частоти серцевих скорочень, показників лактату чи суб'єктивне оцінювання втоми, дають змогу лише частково відстежувати функціональний стан організму і не відображають глибинних нейрофізіологічних механізмів адаптації спортсмена до інтенсивних навантажень.

Використання нейрофізіологічних показників, зокрема електроенцефалографічної (ЕЕГ) активності, варіабельності серцевого ритму (HRV) та сенсомоторних реакцій, відкриває нові можливості для кількісного оцінювання стану нервової системи, контролю рівня стомлення та прогнозування ефективності відновних процесів. Такі дані можуть стати основою для персоналізованої оптимізації тренувальних навантажень, що забезпечить точніше дозування інтенсивності та мінімізує ризики перетренованості або психофізіологічного виснаження.

На сьогодні в науковій і тренерській практиці не вистачає системних підходів до інтеграції нейрофізіологічного моніторингу у структуру тренувального процесу боксерів. Недостатньо вивченими залишаються закономірності змін ЕЕГ-патернів і HRV у динаміці різних тренувальних фаз, а також немає моделі, що давала б змогу оперативно коригувати навантаження на основі отриманих нейрофізіологічних даних.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Попри зростання наукового інтересу до використання нейрофізіологічних показників у спорті, низка аспектів їхнього застосування у тренувальному процесі боксерів залишається недостатньо розробленою.

По-перше, відсутня єдина методологія визначення найбільш інформативних нейрофізіологічних маркерів (ЕЕГ-активності, HRV, сенсомоторних реакцій), які б

достовірно відображали рівень функціональної готовності спортсмена та його адаптаційний потенціал у різних фазах тренувального циклу.

По-друге, потребують наукового обґрунтування підходи до інтеграції нейрофізіологічних показників із традиційними біомеханічними, фізіологічними та психофізіологічними критеріями контролю навантаження, що обмежує можливості створення комплексної системи моніторингу стану боксера.

По-третє, не вистачає узагальнених моделей та алгоритмів, які б дали змогу оперативно коригувати інтенсивність тренувань на основі нейрофізіологічних даних, враховуючи індивідуальні особливості нервової регуляції, рівень стомлення та швидкість відновлення спортсменів.

По-четверте, практичне впровадження таких технологій у тренерську діяльність ускладнене недостатньою стандартизацією процедур збору, аналізу та інтерпретації нейрофізіологічних сигналів, що знижує достовірність і порівнюваність результатів між різними дослідженнями та командами.

Отже, нині наявна потреба у подальших дослідженнях, спрямованих на розроблення стандартизованих протоколів реєстрації та аналізу нейрофізіологічних показників, створення інтегрованих моделей оптимізації тренувальних навантажень та формування практичних рекомендацій для тренерів щодо використання таких даних у повсякденній підготовці боксерів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою цієї статті є наукове обґрунтування можливостей використання нейрофізіологічних показників (ЕЕГ, HRV, сенсомоторних реакцій) для оптимізації інтенсивності тренувальних навантажень у боксі та розроблення моделі їхнього практичного застосування в системі підготовки спортсменів.

Завдання статті:

1. Окреслити теоретичні основи використання нейрофізіологічних показників у спортивній науці як інструменту контролю адаптаційних реакцій організму.
2. Проаналізувати динаміку основних нейрофізіологічних показників на різних етапах тренувального циклу боксерів.
3. Визначити типові нейрофізіологічні реакції організму на навантаження різної інтенсивності та їхній зв'язок із показниками техніко-тактичної ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У спортивній науці простежується послідовний інтерес до нейрофізіологічних показників як об'єктивного підґрунтя персоналізації навантажень у видах із високою інтенсивністю дій, зокрема в боксі. Як зазначають Т. Райхель (T. Reichel), С. Гакер (S. Hacker), Й. Пальмовські (J. Palmowski), Т. Босслау (T. K. Boßlau) et al. [1], контроль циклів «навантаження-відновлення» на основі HRV, ЕКГ-похідних та нейрофізіологічних індикаторів забезпечує своєчасне виявлення станів стомлення. Схожу ідею розвивають Дж. Едлмен (J. S. Addleman), Н. Лакі (N. S. Lackey), Дж. Деблау (J. A. DeBlauw) та А. Гайдучок (A. G. Hajduczuk) [2], які пропонують систему «зелених / червоних зон» для практичного застосування HRV у силовій підготовці, визначаючи межі валідності коротких вимірювань. Узагальнення цих підходів дає підстави вважати, що HRV є одним із найчутливіших показників для контролю адаптаційних реакцій спортсменів.

Концептуальні засади ролі центральної нервової системи у моторному контролі подає С. Перрей (S. Perrey) [3], а Д. Шюттлер (D. Schüttler), В. Гамм (W. Hamm), А. Бауер (A. Bauer) та С. Бруннер (S. Brunner) [4] уточнюють автономні біомаркери, зокрема HRV, як діагностичний індикатор перевантаження та відновлення. Сукупно ці дослідження

окреслюють методологічні межі, у яких нейрофізіологічний моніторинг розглядається не лише як інструмент оцінювання функціонального стану, а й як спосіб прогнозування стійкості до навантажень.

В українській спортивній науці увагу до нейрофізіологічних аспектів боксу приділяють Ю. Є. Мартинюк та В. Ю. Джим [5], які доводять, що відмінності у стилі ведення бою зумовлюють різну структуру функціональної підготовленості спортсменів. Ю. Шестак, В. Мулик та Д. Окунь [6] експериментально підтверджують вплив спеціальних вправ на сенсомоторні показники юних боксерів, наголошуючи на значенні комплексного розвитку психофізіологічної стійкості. У ширшому контексті Н. Хрісагіс та співавтори (N. Chrysagis et al.) [7] демонструють, як «боксерські протоколи» сприяють поліпшенню сенсомоторної інтеграції та якості життя навіть у неспортсменів, що підкреслює універсальність механізмів рухового навчання. Узагальнення праць [5; 6; 7; 8] дало змогу виокремити основні нейрофізіологічні чинники для визначення ефективності рухової діяльності боксерів та відобразити їхній функціональний зміст у контексті тренувального процесу (табл. 1).

Таблиця 1

Нейрофізіологічні чинники визначення ефективності рухової діяльності боксерів

Компонент діяльності боксера	Нейрофізіологічний механізм / показник	Функціональне значення (роль у тренуванні та поєдинку)
Ударна техніка	Швидка активація моторних одиниць, узгодження між сенсорним зворотним зв'язком і моторними командами	Координація рук і тулуба, контроль сили й траєкторії удару потребують точного сенсомоторного узгодження; мікрозатримки у нервових сигналах знижують ефективність удару
Координація рухів	Складна взаємодія кори головного мозку, мозочка і стовбурових центрів	Під час боксу відбувається постійна перебудова моторних програм залежно від дистанції, швидкості та позиції суперника; формується динамічна «перцептивно-моторна карта»
Прийняття рішень під впливом стресу	Активність префронтальної кори, швидкість сенсомоторних реакцій	Стрес і часові обмеження змушують боксера приймати рішення за частки секунди; стійкість нервових процесів забезпечує оптимальну реакцію без втрати точності
Баланс і постуральний контроль	Вестибулярна стабільність, реакції на зміщення центру мас	Під час обміну ударами спортсмен має зберегти рівновагу, компенсуючи удари й переміщення; тренування розвиває сенсомоторну інтеграцію
Когнітивна гнучкість	Зв'язки між моторною та когнітивною кораами головного мозку, нейропластичність	Бокс активізує одночасно фізичну й когнітивну діяльність – рахування, реагування на сигнали, запам'ятовування комбінацій; підвищує когнітивну витривалість
Адаптація до стресових навантажень	Варіабельність серцевого ритму (HRV), стрес-резистентність	Під час змагання змінюється баланс симпатичної / парасимпатичної активності; високий HRV свідчить про здатність швидко

		відновлюватися після фізичного та емоційного стресу
Психофізіологічна підготовленість	Комплексна реакція нервової, серцево-судинної та сенсомоторної систем	У юних боксерів психофізіологічна стійкість формується через спеціальні вправи, що тренують реакцію на раптові подразники та стресові умови бою

Джерело: сформовано на основі узагальнення [5], [6], [7], [8].

Дослідження В. Васконселоса (V. B. Vasconcelos), Г. Протцена (G. V. Protzen), Л. Галліано (L. M. Galliano), К. Кірка (C. Kirk) та Ф. Дель Веккіо (F. B. Del Vecchio) [9] показують, що використання високоінтенсивних інтервальних тренувань (НІТ) в єдиноборствах сприяє підвищенню $VO_2\max$, анаеробної потужності й толерантності до лактату, що розширює адаптаційні можливості спортсмена. К. Тхаравадіпімук (K. Tharawadeerimuk) та Й. Вонгсават (Y. Wongsawat) [10] демонструють потенціал кількісної електроенцефалографії (QEEG) для диференціації рівня майстерності спортсменів на основі спектральних характеристик мозкової активності, тоді як Ч. Прунеті (C. Pruneti), С. Феррарі (S. Ferrari) і С. Гуїдотті (S. Guidotti) [11] розглядають HRV як індикатор психофізичного здоров'я та ефективності біофідбек-технологій. Ці дослідження спільно підкреслюють необхідність комплексного підходу до поєднання фізіологічних і когнітивних параметрів у системі контролю навантажень.

Крім того, Д. А. Геккет (D. A. Hackett), Г. С. Вілсон (G. C. Wilson), Л. Мітчелл та співавтори (L. Mitchell et al.) [12] аналізують зміну фізіологічних показників у періодизації тренувань, доводячи, що передзмагальне зниження обсягу роботи супроводжується нормалізацією HRV та підвищенням точності рухів. На основі узагальнення джерел [2; 11; 12] сформовано таблицю, у якій систематизовано закономірності змін нейрофізіологічних показників боксерів на різних етапах тренувального циклу та подано їхню функціональну інтерпретацію (табл. 2).

Таблиця 2

Динаміка нейрофізіологічних показників боксерів на різних етапах тренувального циклу

Етап тренувального циклу	Основна характеристика навантаження	Зміни нейрофізіологічних показників (ЕЕГ, HRV, сенсомоторні реакції)	Функціональна інтерпретація (стан нервової системи)	Практичні орієнтири для корекції тренувального процесу
Підготовчий (загальний)	Базова фізична підготовка, технічне відпрацювання без пікових навантажень	Збільшення HRV, стабілізація α -ритму ЕЕГ, нормалізація сенсомоторних реакцій	Формується базова нейронна адаптація, відновлюються парасимпатичні механізми, зростає точність рухів	Використовувати HRV-моніторинг і тести реакції як базовий рівень порівняння
Спеціальний (інтенсивний)	Високоінтенсивні серії ударів, спаринги, робота на мішках у режимі НІТ	Тимчасове зниження HRV, домінування β -активності ЕЕГ, збільшення латентного часу реакцій	Ознаки перевантаження нервової системи, але водночас адаптаційне зміцнення	Чергувати важкі й легкі мікроцикли, контролювати відновлення за HRV та ЕЕГ-показниками

			моторних контурів	
Передзмагальний	Зниження обсягу навантаження, підтримка швидкісно-силової готовності	Відновлення HRV до базових значень, поява стабільного α -ритму, підвищення сенсомоторної точності	Оптимальний баланс між збудженням і контролем, стабілізація когнітивної концентрації	Застосовувати короткі інтервальні навантаження для підтримки нервово-м'язового тону
Відновний (постзмагальний)	Зниження інтенсивності, активне відновлення, психологічна релаксація	Підвищення HRV, зменшення β -активності, нормалізація швидкості реакцій	Зниження рівня симпатичного напруження, відновлення когнітивної функціональності	Планувати індивідуальний період відновлення, використовувати нейрофідбек або дихальні техніки

Джерело: сформовано на основі узагальнення праць [2], [11], [12].

Базові механізми автономної регуляції узагальнює Цз.-Г. Донг (J.-G. Dong) [13], розглядаючи зниження HRV як об'єктивний показник перевантаження й порушення адаптаційного балансу. К. Домінгос (C. Domingos), К. М. да Сілва (C. M. da Silva), А. Антунес та співавтори (A. Antunes et al.) [14] підтверджують можливість підвищення парасимпатичного тону через нейрофідбек в α -діапазоні, а Б. Тості (B. Tosti), С. Корrado (S. Corrado), Т. Ді Ліберо та співавтори (T. Di Libero et al.) [15] систематизують протоколи нейрофідбек-тренувань, що підвищують продуктивність і стресостійкість спортсменів. Сукупний аналіз цих досліджень демонструє перехід спортивної науки від традиційних методів контролю до інтегрованого нейрофізіологічного підходу, який поєднує об'єктивні показники ЕЕГ, HRV та когнітивно-сенсомоторні параметри в єдину систему управління підготовкою.

Отже, сучасний корпус праць формує послідовний науковий базис для інтеграції HRV, ЕЕГ та сенсомоторних тестів у керування тренувальним навантаженням у боксі: від теоретичного обґрунтування нейропластичних та автономних механізмів до прикладних рішень (НІТ-протоколи, фазова періодизація, нейрофідбек), що разом забезпечують персоналізацію, превенцію перевантаження та підвищення змагальної ефективності. У таблиці 3 подано порівняльний аналіз наукових джерел [1]–[15], який дає змогу простежити еволюцію підходів до персоналізації навантажень, порівняти нейрофізіологічні індикатори у видах із різною інтенсивністю (НІТ, силова підготовка, бокс) та виокремити спільні закономірності й відмінності між результатами різних авторів.

Таблиця 3

Порівняльна характеристика наукових підходів до використання нейрофізіологічних показників у тренувальному процесі спортсменів

Автор(-и), рік	Вибірка / вид спорту	Ключовий показник	Основні результати	Практичне значення
T. Reichel et al., 2022	Витривалі види спорту	HRV, ЕКГ-похідні, нейрофізіологічні індикатори	Виділено маркери циклу «навантаження–відновлення»; HRV чутливий до стомлення	Щоденний контроль готовності, виявлення перевантаження
J. S. Addleman et al., 2024	Силова / кондиційна підготовка	HRV (RMSSD, SDNN), короткі сесії	«Зелені / червоні зони» для прийняття рішень; межі	Простий алгоритм дозування

			ультракоротких вимірювань	навантажень у залі
S. Perrey, 2013	Загальноспортивний контекст	ЕЕГ, нейропластичність	Роль ЦНС і нейропластичності в моторному контролі	Когнітивно-моторна інтеграція у тренуваннях
D. Schüttler et al., 2020	Спортивна медицина	HRV, нові ЕКГ-біомаркери	HRV – чутливий індикатор перевантаження / відновлення	Медичний скринінг, моніторинг відновлення
Ю. Є. Мартинюк, В. Ю. Джим, 2023	Кваліфіковані боксери	Психофізіологічні тести, функціональна підготовленість	Відмінності за стилем бою у профілі підготовленості	Індивідуалізація плану з урахуванням манери бою
Ю. Шестак, В. Мулик, Д. Окунь, 2020	Юні боксери (15–16 років)	Сенсомоторні реакції	Спеціальні вправи покращують реактивність і стресостійкість	Включення сенсомоторних дрилів у мікроцикли
N. Chrysagis et al., 2024	Клінічні популяції («boxing protocols»)	Сенсомоторні / функціональні тести	Поліпшення функції та якості життя	Підтвердження важливості сенсомоторної інтеграції
R. Hristovski et al., 2006	Моделювання в єдиноборствах	Нелінійна динаміка, поведінкові патерни	Удар – емергентна поведінка «спортсмен-середовище»	Варіювання завдань / середовища для прийняття рішень
V. B. Vasconcelos et al., 2021	Єдиноборства	НІПТ, VO ₂ max, анаеробна потужність	НІПТ підвищує стійкість до втоми та толерантність до лактату	Обґрунтування НІПТ в етапах тренування боксерів
K. Tharawadeepimuk & Y. Wongsawat, 2021	Професійний футбол (трансфер ідей)	QEEG (спектральні ознаки, індекси)	QEEG стратифікує рівень майстерності	Оцінювання «готовності / перевантаження» через QEEG
Pruneti et al., 2023	Атлети	HRV, біофідбек	HRV як індекс психофізичного здоров'я; користь біофідбеку	Дихальні / біофідбек-протоколи для відновлення
D. A. Hackett et al., 2020	Пауерліфтинг	Фізіологічні маркери, HRV (непрямо)	Перед стартом – нормалізація показників, підвищення точності	Підтримка «розвантаження» перед змаганнями
J.-G. Dong, 2016	Загальноспортивний контекст	HRV	Низький HRV – маркер перевантаження; ризики перетренованості	Оперативний «червоний прапор» у мікроциклі
C. Domingos et al., 2021	Атлети	Нейрофідбек (α -діапазон), HRV	Альфа-нейрофідбек підвищує HRV і стабільність	Збільшення парасимпатичного тону, контроль стресу
V. Tosti et al., 2024	Різні види спорту (огляд)	Нейрофідбек-протоколи	Поліпшення продуктивності, емоційної регуляції, зниження тривоги	Вибір протоколів під цілі періодизації

Джерело: сформовано на основі узагальнення [1]–[15].

Узагальнені в таблиці 3 дані дають змогу простежити еволюцію наукових підходів до персоналізації тренувальних навантажень у спортивній практиці. Порівняння нейрофізіологічних показників, отриманих під час різних видів діяльності, зокрема НІТ, боксу та силової підготовки, допомагає виявити спільні закономірності адаптаційних реакцій організму. Серед них – стабілізація альфа-ритму, підвищення варіабельності серцевого ритму (HRV) у фазах відновлення та скорочення латентності сенсомоторних реакцій зі зростанням рівня тренуваності.

Водночас виявлено й специфічні відмінності. Для НІТ характерне помітне зниження HRV і домінування бета-активності через короткочасні екстремальні навантаження. У боксі спостерігається чергування станів когнітивної мобілізації та стресової реакції, що відображається в динаміці ЕЕГ-ритмів. У процесі періодизації силової підготовки простежується поступове посилення парасимпатичного впливу.

Отже, результати аналізу свідчать про спільну тенденцію до пошуку оптимального балансу між навантаженням і відновленням, що є основним принципом індивідуалізації тренувального процесу. Це підтверджує ефективність нейрофізіологічного моніторингу як універсального засобу його реалізації.

Методи дослідження

Для досягнення мети використано комплекс взаємопов'язаних теоретичних та аналітичних методів, що забезпечили цілісність дослідження.

На першому етапі застосовано аналіз та узагальнення науково-методичної літератури, що дало змогу виявити сучасні тенденції у використанні нейрофізіологічних показників у спортивній науці та з'ясувати їхнє значення для оптимізації тренувального процесу боксерів. Цей метод став базовим для формування теоретичних засад дослідження.

Далі проведено аналіз публікацій і наукових звітів, присвячених змінам ЕЕГ, HRV та сенсомоторних реакцій спортсменів під впливом різних інтенсивностей фізичних навантажень. Це допомогло систематизувати емпіричні дані й виокремити найінформативніші показники для оцінювання стану нервової системи.

Застосування порівняльного аналізу дало змогу зіставити характерні зміни нейрофізіологічних параметрів на різних етапах тренувального циклу (підготовчому, спеціальному, передзмагальному та відновному) й визначити закономірності адаптаційних реакцій організму боксерів.

На завершальному етапі використано метод концептуального моделювання, за допомогою якого побудовано модель оптимізації тренувальних навантажень у боксі. Цей метод забезпечив інтеграцію результатів теоретичного аналізу та практичних висновків у єдину систему прийняття рішень щодо планування, корекції та контролю тренувального процесу.

Результати

Ефективність тренувального процесу в боксі переважно визначається здатністю організму спортсмена підтримувати оптимальний баланс між рівнем навантаження та функціональними можливостями центральної нервової системи. У сучасних умовах розвитку спортивної науки зростає інтерес до використання нейрофізіологічних показників як об'єктивного інструменту оцінювання адаптаційних реакцій організму під час інтенсивних тренувань. Аналіз ЕЕГ, HRV та швидкості сенсомоторних реакцій дає змогу не лише виявляти ступінь втоми або перетренованості, а й прогнозувати ефективність відновних процесів. Вивчення динаміки цих параметрів упродовж тренувального циклу сприяє формуванню більш точної картини нейрофізіологічного стану спортсмена, що відкриває перспективи для науково обґрунтованої оптимізації

інтенсивності навантажень. У цьому контексті актуальним є поєднання традиційних засобів контролю (пульсометрія, лактат-аналіз, функціональні проби) з високочутливими нейрофізіологічними методами, здатними виявляти глибокі процеси адаптації нервової та вегетативної систем спортсменів-боксерів.

У спортивній науці нейрофізіологічні показники розглядаються як об'єктивні біомаркери, що відображають стан центральної нервової та вегетативної нервової систем під впливом фізичних навантажень. Вони характеризують рівень активації, втоми та відновлення організму, забезпечуючи кількісне оцінювання адаптаційних процесів. До основних нейрофізіологічних параметрів належать ЕЕГ, HRV, показники сенсомоторних реакцій та інші маркери, що відображають баланс між симпатичною і парасимпатичною регуляцією. Сукупність цих даних дає змогу об'єктивно оцінювати функціональний стан спортсмена і визначати оптимальну інтенсивність тренувальних навантажень [1, с. 446].

Функціонально нейрофізіологічні показники у спортивній науці виконують регуляторну, діагностичну та прогностичну функції. Їхнє використання допомагає відстежувати реакції автономної нервової системи на фізичні навантаження, оцінювати ступінь втоми, рівень адаптації та готовність до подальшого тренування. Зокрема, HRV є одним із найчутливіших маркерів, що відображає баланс між симпатичним і парасимпатичним впливами, характеризуючи гнучкість фізіологічної системи. Високі показники HRV свідчать про ефективне відновлення та стійкість до стресу, тоді як зниження – про перевтому або перетренованість. Отже, нейрофізіологічні параметри є надійним інструментом індивідуалізації тренувальних програм, що дає змогу своєчасно коригувати інтенсивність і структуру навантаження для запобігання дестабілізації функціонального стану спортсмена [2, с. 4].

У контексті нейрофізіологічного підходу до підготовки спортсменів важливу роль відіграє центральна нервова система, яка координує діяльність кіркових, підкіркових і периферичних структур, забезпечуючи узгоджене виконання рухів та адаптацію до навантажень. Під впливом тренувань активізуються процеси нейропластичності, посилюються кровопостачання та збудливість мозку, формуються нові нейронні зв'язки, що підвищує ефективність моторного контролю. Зростання рівня нейротрофічних факторів, зокрема BDNF, сприяє відновленню нервової системи, покращує координацію та стійкість до втоми [3, с. 115].

Варто наголосити, що безперервний моніторинг нейрофізіологічних параметрів, таких як ЕЕГ, HRV і сенсомоторні реакції, дає змогу об'єктивно визначати рівень стомлення, стресу та готовності спортсмена до тренування. Зниження HRV відображає посилення симпатичної активності та зменшення впливу парасимпатичної системи, що є маркером перевтоми або недостатнього відновлення. Навпаки, високі показники HRV свідчать про адекватну адаптацію та готовність до інтенсивних навантажень. Аналіз електроенцефалографічної активності показує, що збільшення частоти β -хвиль пов'язане зі станом напруження або стресу, тоді як домінування α -ритму відображає стабільний функціональний стан. Зміни у швидкості сенсомоторних реакцій, зокрема подовження латентного періоду або зростання помилок, сигналізують про зниження концентрації та когнітивну втому. Комплексне оцінювання цих показників створює наукове підґрунтя для індивідуального коригування тренувальних навантажень та запобігання розвитку перетренованості спортсменів [4, с. 145–146].

Бокс належить до видів спорту, які вимагають виняткової нейрофізіологічної стійкості, оскільки поєднує високу фізичну інтенсивність зі складними когнітивними та сенсомоторними процесами. Під час поєдинку спортсмен повинен одночасно координувати рухи, контролювати силу та напрямок удару, підтримувати рівновагу й оперативно реагувати на дії суперника. Такі умови потребують стабільної роботи центральної нервової та вегетативної нервової систем, здатності до швидкого

прийняття рішень і збереження ефективності під впливом стресу. Узагальнені характеристики цих нейрофізіологічних вимог наведено в таблиці 1.

Отримані узагальнення демонструють, що ефективність боксерської діяльності визначається не лише рівнем фізичної підготовленості спортсмена, а й здатністю нервової системи швидко адаптуватися до змінних і стресових умов поєдинку. Висока нейрофізіологічна стійкість забезпечує узгодженість рухів, контроль емоційних реакцій і точність прийняття рішень у ситуаціях підвищеного навантаження. Вона виступає головною передумовою збереження працездатності, стратегії ведення бою та ефективного відновлення після інтенсивних дій.

Отже, у структурі тренувального процесу боксерів особливо важливе місце відводиться коротким, але надзвичайно потужним інтервалам роботи, які створюють найвищі вимоги до енергетичних і нервово-м'язових систем. Такі навантаження імітують змагальні умови, коли спортсмен виконує серію вибухових рухів протягом кількох секунд із мінімальними паузами на відновлення. НІТ забезпечують підвищення анаеробної потужності, максимальне споживання кисню та здатність організму ефективно переносити лактат, що є визначальними чинниками стійкості до втоми і підтримання бойової ефективності [9, с. 11].

Реакція нервової системи на інтенсивні навантаження має складний багаторівневий характер. Дані QEEG свідчать, що під час змагальних імітацій відбуваються суттєві зміни у частотній структурі ЕЕГ-ритмів, а саме: зростає потужність дельта- і тета-діапазонів, що відображає підвищення когнітивного навантаження та втоми кори головного мозку. Одночасно знижується HRV, що вказує на перевагу симпатичної активності та зниження адаптивних резервів автономної нервової системи. У спортсменів, які зазнають перевтоми, спостерігаються подовження сенсомоторних реакцій, зниження точності прийняття рішень і прояви центральної втоми – зменшення когерентності між півкулями та зниження ефективності нейронної синхронізації [10, с. 13]. Отже, високі інтенсивності тренувального впливу потребують чіткої регуляції навантаження, щоб уникнути надмірного напруження нейрофізіологічних механізмів і забезпечити оптимальну працездатність під час бою.

У процесі багатофазової підготовки боксерів нейрофізіологічні показники зазнають закономірних коливань, що відображають рівень адаптації нервової та вегетативної систем до змін інтенсивності навантаження. Кожен етап тренувального циклу має власну функціональну специфіку – від поступового підвищення обсягу роботи до цілеспрямованого розвитку спеціальної витривалості та подальшої стабілізації психофізіологічних процесів перед змаганнями. Динаміка таких параметрів, як варіабельність серцевого ритму, частотна структура ЕЕГ і швидкість сенсомоторних реакцій, допомагає визначити не лише рівень втоми чи відновлення, а й оптимальний момент для реалізації пікової спортивної форми. Узагальнені особливості змін цих показників на різних етапах тренувального циклу боксерів подано в таблиці 2. Наведені в таблиці дані узагальнюють нейрофізіологічні закономірності реагування організму боксерів на зміну тренувальних фаз. Їх аналіз дає змогу простежити поступовий перехід від адаптаційної мобілізації нервової системи до її стабілізації та відновлення, що відображає циклічний характер тренувального процесу. На ранніх етапах домінують процеси функціонального напруження, спрямовані на підвищення стійкості до стресу й зростання спеціальної витривалості. У міру наближення до змагального періоду відбуваються оптимізація нейрорегуляторних механізмів, поліпшення інтеграції сенсомоторних реакцій та відновлення балансу між симпатичною та парасимпатичною активністю. У цьому контексті динаміка нейрофізіологічних показників виступає надійним індикатором ефективності тренувального навантаження і критерієм готовності спортсмена до реалізації пікової форми.

На основі узагальнення даних із досліджень, присвячених впливу різної інтенсивності навантажень на нейрофізіологічні показники спортсменів, можна визначити характерні закономірності змін ЕЕГ-активності, HRV та швидкості сенсомоторних реакцій.

Під час високоінтенсивних навантажень спостерігається зростання бета-активності у фронтальних і центральних ділянках кори головного мозку, що свідчить про посилену когнітивну і моторну мобілізацію, підвищення рівня збудження та стресової реактивності. Водночас знижується HRV через домінування симпатичної регуляції, а латентність сенсомоторних реакцій подовжується внаслідок функціонального виснаження нервової системи [13, с. 1535].

У фазі відновлення або після серій інтенсивних вправ характерними є нормалізація альфа-ритмів і зростання показників HRV, що свідчить про активацію парасимпатичних механізмів, відновлення вегетативного балансу та поліпшення емоційної стабільності спортсмена [14, с. 7].

Кореляційний аналіз показує, що збереження високих показників альфа-активності та HRV позитивно впливає на рівень концентрації, точність рухових дій і швидкість прийняття рішень. Натомість надмірне домінування бета-активності та зниження HRV супроводжуються зростанням рівня тривожності, зниженням координації та точності ударів, що чинить негативний вплив на результативність спортсменів [15, с. 23].

Отже, поєднане використання ЕЕГ і HRV у тренувальному моніторингу дає змогу не лише визначати рівень втоми чи стресу, а й прогнозувати спортивну ефективність через аналіз когнітивно-емоційних і вегетативних реакцій на різні інтенсивності навантажень.

Узагальнення результатів розглянутих досліджень свідчить, що ефективність управління тренувальним процесом у боксі значною мірою залежить від здатності тренера своєчасно реагувати на зміни функціонального стану спортсмена, зокрема на рівні нейрофізіологічних показників. Наявність об'єктивних даних про роботу центральної нервової та вегетативної нервової систем створює можливість для персоналізації навантажень і побудови адаптивної системи контролю підготовки. Саме на цьому ґрунтується необхідність розроблення практичної моделі, яка допомагає інтегрувати результати нейрофізіологічного моніторингу у процеси планування, оцінювання та корекції тренувальної діяльності боксерів.

Запропонована модель оптимізації тренувальних навантажень у боксі ґрунтується на використанні нейрофізіологічних показників як об'єктивної основи для контролю та корекції інтенсивності занять. Її головна мета – забезпечити баланс між навантаженням і відновленням, запобігти розвитку перевтоми та підтримати стабільну готовність спортсмена до високоефективної діяльності. Основою моделі є послідовність дій, що включає моніторинг, оцінювання стану, прийняття рішення та корекцію навантаження.

На першому етапі здійснюється регулярний збір нейрофізіологічних даних: HRV, ЕЕГ-показників (співвідношення альфа- та бета-ритмів), швидкості сенсомоторних реакцій. Отримані значення порівнюються з індивідуальними нормами спортсмена, сформованими в період стабільного функціонального стану. Якщо HRV зберігається на високому рівні, переважає альфа-активність, а сенсомоторні реакції залишаються швидкими, спортсмен перебуває у стані оптимальної готовності. Зниження HRV, зростання бета-активності та подовження латентності реакцій свідчать про перевтому, тоді як надмірно високі показники HRV за відсутності ознак мобілізації можуть вказувати на недовантаження.

Відповідно до визначеного стану коригується тренувальна робота: у разі оптимальної готовності програма виконується в запланованому обсязі, при ознаках перевантаження інтенсивність зменшується на 20–30 %, акцент робиться на техніко-

тактичних вправах і дихальних техніках. В разі недовантаження доцільно підвищити інтенсивність на 10–15 %, додати інтервальні або вибухові вправи.

Практичне застосування моделі передбачає ранковий контроль HRV для планування тренувального дня, оперативне оцінювання сенсомоторних реакцій між раундами під час спарингів та аналіз альфа-активності у відновний період. Такий підхід дає змогу тренеру вчасно реагувати на фізіологічні зміни, індивідуалізувати навантаження, підвищити ефективність адаптаційних процесів і забезпечити стійку нейрофізіологічну рівновагу спортсмена протягом усього тренувального циклу.

Висновки

Результати проведеного дослідження підтверджують, що нейрофізіологічні показники є ефективним інструментом контролю функціонального стану боксерів протягом усього тренувального циклу. Аналіз динаміки електричної активності кори головного мозку, варіабельності серцевого ритму та швидкості сенсомоторних реакцій показав, що саме ці параметри найбільш чутливо відображають рівень адаптації нервової системи до фізичних навантажень.

Встановлено закономірну послідовність реакцій організму спортсмена. У період загальної підготовки спостерігаються стабілізація електричної активності мозку в альфа-діапазоні та зростання варіабельності серцевого ритму. На етапі спеціальної підготовки відзначаються посилення бета-активності й тимчасове зниження показників серцевої регуляції. У передзмагальний період параметри повертаються до індивідуальної норми, а у фазі відновлення посилюється вплив парасимпатичної нервової системи. Така послідовність змін відображає природний цикл напруження і відновлення нервової системи спортсмена та може використовуватися для прогнозування оптимального рівня спортивної форми.

Порівняння отриманих результатів із даними попередніх досліджень засвідчило, що в боксі нейрофізіологічна реакція характеризується більш вираженим когнітивним компонентом, зумовленим поєднанням моторних, сенсорних і стратегічних дій. Це вказує на необхідність урахування не лише фізіологічних, а й психонейронних показників під час планування тренувальних програм.

Практична значущість дослідження полягає в можливості використання його результатів тренерами і спортивними лікарями для впровадження системи нейрофізіологічного моніторингу підготовки боксерів. Доцільними є проведення коротких тестів варіабельності серцевого ритму вранці, оцінювання швидкості сенсомоторних реакцій перед спарингами та аналіз електричної активності мозку в періоди інтенсивних тренувань.

Подальші дослідження варто спрямувати на створення цифрової системи зворотного зв'язку, яка забезпечуватиме автоматизований аналіз стану нервової, серцево-судинної та сенсомоторної систем у режимі реального часу. Перспективним напрямом також є розроблення методики індивідуального планування тренувальних мікроциклів з урахуванням психофізіологічної стійкості спортсменів та швидкості їх відновлення після навантажень. Розширення вибірки за рахунок залучення представників інших видів спорту дасть змогу виявити міжвидові особливості нейрофізіологічних реакцій і сформувані універсальні критерії оцінювання готовності спортсменів.

Список використаних джерел

1. Reichel T., Hacker S., Palmowski J., Boßlau T. K., Frech T., Tirekoglou P., Weyh C., Bothur E., Samel S., Walscheid R., Krüger K. Neurophysiological markers for monitoring exercise and recovery cycles in endurance sports. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2022. Vol. 21. P. 446–457. DOI: <https://doi.org/10.52082/jssm.2022.446>.

2. Addleman J. S., Lackey N. S., DeBlauw J. A., Hajduczuk A. G. Heart rate variability applications in strength and conditioning: a narrative review. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 2024. Vol. 9, No. 93. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3390/jfmk09010093>.
3. Perrey S. Promoting motor function by exercising the brain. *Brain Sciences*. 2013. Vol. 3. P. 101–122. DOI: <https://doi.org/10.3390/brainsci3010101>.
4. Schüttler D., Hamm W., Bauer A., Brunner S. Routine heart rate-based and novel ECG-based biomarkers of autonomic nervous system in sports medicine. *German Journal of Sports Medicine*. 2020. Vol. 71, No. 6. P. 141–149. DOI: <https://doi.org/10.5960/dzsm.2020.428>.
5. Мартинюк Ю. Є., Джим В. Ю. Порівняльний аналіз показників загальної фізичної підготовленості кваліфікованих боксерів різних манер ведення поєдинку. *Єдиноборства*. 2023. № 4 (30). С. 79–88. DOI: <https://doi.org/10.15391/ed.2023-4.08>.
6. Шестак Ю., Мулик В., Окунь Д. Вплив використання спеціальних вправ на психофізіологічні показники юних боксерів 15–16 років. *Слобожанський науково-спортивний вісник*. 2020. № 6 (80). С. 46–51. DOI: <https://doi.org/10.15391/sns.v.2020-6.007>.
7. Chrysagis N., Trompouki G., Petropaulis D., Koumantakis G. A., Krekoukias G., Theotokatos G., Skordilis E., Sakellari V. Effect of boxing exercises on the functional ability and quality of life of individuals with Parkinson's disease: a systematic review. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*. 2024. Vol. 14, No. 5. P. 1295–1310. DOI: <https://doi.org/10.3390/ejihpe14050085>.
8. Hristovski R., Davids K., Araújo D., Button C. How boxers decide to punch a target: emergent behaviour in nonlinear dynamical movement systems. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2006. Vol. 5. P. 60–73. URL: https://www.researchgate.net/publication/236568552_How_Boxers_Decide_to_Punch_a_Target_Emergent_Behaviour_in_Nonlinear_Dynamical_Movement_Systems (дата звернення: 17.08.2025).
9. Vasconcelos B. B., Protzen G. V., Galliano L. M., Kirk C., Del Vecchio F. B. Effects of high-intensity interval training in combat sports: a systematic review with meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2021. Vol. 35, No. 8. P. 1–13. DOI: [10.1519/JSC.0000000000003255](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003255).
10. Tharawadeepimuk K., Wongsawat Y. Quantitative EEG in sports: performance level estimation of professional female soccer players. *Health Information Science and Systems*. 2021. Vol. 9, No. 14. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13755-021-00144-w>.
11. Pruneti C., Ferrari S., Guidotti S. A narrative review of heart rate variability as a good index of psychophysical health in athletes and in biofeedback training. *Journal of Clinical Sport Psychology*. 2023. P. 1–28. DOI: <https://doi.org/10.1123/jcsp.2022-0016>.
12. Hackett D. A., Wilson G. C., Mitchell L., Mosalman Haghighi M., Clarke J. L., Mavros Y., O'Connor H., Hagstrom A. D., Slater G. J., Keogh J., McLellan C. Effect of training phase on physical and physiological parameters of male powerlifters. *Sports*. 2020. Vol. 8, No. 8. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.3390/sports8080106>.
13. Dong J.-G. The role of heart rate variability in sports physiology. *Experimental and Therapeutic Medicine*. 2016. Vol. 11, No. 5. P. 1531–1536. DOI: [10.3892/etm.2016.3104](https://doi.org/10.3892/etm.2016.3104).
14. Domingos C., Silva C. M. da, Antunes A., Prazeres P., Esteves I., Rosa A. C. The influence of an alpha band neurofeedback training in heart rate variability in athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18, No. 23. P. 1–9. DOI: [10.3390/ijerph182312579](https://doi.org/10.3390/ijerph182312579).
15. Tosti B., Corrado S., Mancone S., Di Libero T., Carissimo C., Cerro G., Rodio A., da Silva V. F., Coimbra D. R., Andrade A., Diotaiuti P. Neurofeedback training protocols in sports: a systematic review of recent advances in performance, anxiety, and emotional regulation. *Brain Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 10. P. 1–38. DOI: [10.3390/brainsci14101036](https://doi.org/10.3390/brainsci14101036).