Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_17
УДК 612.821; 796.835

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_17
UDC 612.821; 796.835

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ КОГЕРЕНТНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ И ПОСТУРАЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ У КИКБОКСЕРОВ ВЫСОКОЙ И НИЗКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ

Ю.Н. Романов[1], П.А. Байгужин[1], А.П. Павлова[2]
[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Челябинск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Нейрофизиологические механизмы обеспечения постуральной устойчивости у спортсменов разной квалификации остаются недостаточно изученными. ***Методы.*** У 20 кикбоксеров (10 мастеров спорта и 10 перворазрядников) проведены стабилометрия в объеме классического протокола и запись электроэнцефалограммы в фоновой пробе и при гипервентиляции. Выполнен корреляционный анализ между показателями когерентности электроэнцефалограммы и интегральными индексами постуральной стабильности. Межгрупповое сравнение коэффициентов корреляции проведено с использованием Z-теста Фишера. ***Результаты.*** В условиях вестибулярной нагрузки у спортсменов низкой квалификации выявлены тесные связи между височно-лобной когерентностью и стабилометрическими индексами, тогда как у высококвалифицированных спортсменов эти связи ослаблены или отсутствуют. ***Заключение.*** Полученные данные свидетельствуют о проявляющейся в ослаблении корково-постуральных связей и переходе управления на субкортикальный уровень автоматизации постурального контроля у кикбоксеров высокой квалификации.
Ключевые слова: кикбоксеры, когерентность электроэнцефалограммы, постуральная устойчивость, спортивная квалификация, нейрофизиологические механизмы, автоматизация движений, корреляционный анализ.

ANALYSIS OF FUNCTIONAL RELATIONSHIPS BETWEEN ELECTRO-ENCEPHALOGRAM COHERENCE AND POSTURAL STABILITY IN HIGH- AND LOW-SKILLED KICKBOXERS

Yu.N. Romanov[1], P.A. Baiguzhin[1], A.P. Pavlova[2]
[1]South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia
[2]South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The neurophysiological mechanisms of ensuring postural stability in athletes of different qualifications remain insufficiently studied. ***Methods.*** 20 kickboxers (10 masters of sports and 10 first-class athletes) underwent stabilometry in the scope of the classical protocol and electroencephalogram recording in the background sample and during hyperventilation. A correlation analysis was performed between electroencephalogram coherence indices and integral indices of postural stability. An intergroup comparison of correlation coefficients was performed using the Fisher Z-test. ***Results.*** In the vestibular load conditions, low-skilled athletes have revealed close links between frontotemporal coherence and stabilometric indices, whereas these links are weakened or absent in high-skilled athletes. ***Conclusion.*** The data obtained indicate automation of postural control in high-skilled kickboxers, manifested in the weakening of cortical and postural connections, as well as the control transition to the subcortical level.
Keywords: kickboxers, electroencephalogram coherence, postural stability, sports qualification, neurophysiological mechanisms, motor automation, correlation analysis.

Введение. Спортсмены, занимающиеся ситуационными видами спорта, обладают наиболее эффективной системой постурального контроля, что проявляется в лучших показателях стабилографии при различных функциональных нагрузках. В отличие от циклических видов спорта, где вариации более предсказуемы, это связано с

необходимостью компенсации разнородных и непредсказуемых внешних факторов [1].

В недавнем систематическом обзоре «Применение электроэнцефалографии (ЭЭГ) в спортивных единоборствах. Обзор результатов, перспектив и ограничений в спорте» [2], показано, что у элитных кикбоксеров в состоянии покоя регистрируется повышенная активность во всех диапазонах по сравнению с новичками. Кроме того, у элитных спортсменов (карате, фехтование) зафиксировано снижение десинхронизации альфа-ритма при выполнении задач, что трактуется как нейрофизиологическая эффективность [2].

Представленные в работе M. Dieterich и T. Brandt (2018) данные о структурном и функциональном вестибулярном доминировании, характерном для правого полушария у правшей и левого полушария у левшей, указывают на необходимость исследования функциональных связей параметров постуральной устойчивости с показателями активности коры с учетом латерализации [3]. В исследовании Q. Arshad с соавторами (2015) показано влияние латерализации вестибулярной системы не только на «высшие» функции, но и на «низшие» (например, вестибуло-окулярный рефлекс) [4].

Высокая спортивная квалификация характеризуется, кроме прочего, выраженными механизмами автоматизации двигательных навыков [5]. Так, J. Milton с соавторами (2007), исследуя нейрофизиологические механизмы планирования движений у опытных игроков в гольф, установил, что задняя поясная извилина, миндалевидно-переднемозговой комплекс и базальные ганглии были активны только у новичков, тогда как у мастеров активация наблюдалась преимущественно в верхней теменной доле, дорсальной латеральной премоторной и затылочной областях [6]. В основе автоматизации движений лежит выработанная целенаправленная и эффективная организация нейронных сетей.

Успешность в кикбоксинге детерминируется проявлением на высоком уровне следующих нейромоторных качеств: симметричной устойчивости (сохранение позы при нанесении, «ухода» от или пропуска ударов); асимметричного контроля в условиях латерализации функций, а значит движений (например, «джеб – кросс» или «защита – атака»); вестибулярной устойчивости (сохранение равновесия при поворотах головы и быстрых перемещениях). Проявление указанных выше качеств обусловлено надежностью нейромоторной интеграции функций произвольной и непроизвольной регуляции движений и усилий.

С этих позиций анализ функциональных связей активности коры головного мозга и стабилометрических показателей представляется востребованным в понимании механизма обеспечения постуральной устойчивости. Комплексный подход, позволяющий выявить нейрофизиологические корреляты квалификации через анализ взаимосвязей между корковой синхронизацией и постуральным контролем, в современной литературе не представлен. Остается открытым ряд вопросов об идентификации паттернов корковой синхронизации, которые лежат в основе различий постурального контроля у спортсменов разной квалификации, а также о том, являются ли эти различия следствием усиления или, напротив, редукции корково-постуральных связей. При этом, при анализе корреляционных плеяд не столько важна констатация признака «слаженности» или «сформированности» системы, сколько демонстрация индикаторов морфофункциональной «свободы» этой системы.

Цель: выявить особенности взаимосвязей между показателями когерентности ЭЭГ и интегральными индексами постуральной стабильности у кикбоксеров высокой и низкой квалификации.

Методы и организация исследования. Обследование проведено в начале подготовительного этапа подготовки, стационарно в условиях лаборатории с соблюдением стандартных условий и требований к проведению обследований человека [7]. Первая группа – спортсмены высшей квалификации – ВК (мастер спорта международного класса – 4 спортсмена, мастер спорта – 12); вторая группа – спортсмены с относительно низкой квалификацией – НК (I разряд). Все обследованные кикбоксеры правши.

Для достижения целевой установки исследования применены два инструментальных метода оценивания постуральной устойчивости – стабилометрии [8] и уровня интегративной деятельности мозговых структур – когерентного анализа ЭЭГ [9]. В соответствии с протоколом обследования на аппаратно-программном комплексе «Стабилан-2» стабилометрия проведена на жесткой опоре в стандартных условиях: основная стойка, глаза открыты, поворот головы вправо, глаза открыты, поворот головы влево, глаза открыты, те же положения, но с закрытыми глазами.

Монополярная регистрация ЭЭГ проводилась на 19-канальном электроэнцефалографе «Нейрон-Спектр-3» (ООО «Нейрософт», Россия) по международной схеме «10-20» с референтным электродом на мочке ипсилатерального уха. Регистрация проводилась стационарно в состоянии спокойного бодрствования и при стандартных функциональных пробах («открытые-закрытые глаза» и гипервентиляция) [10] Когерентность ЭЭГ рассчитывалась в стандартных частотных диапазонах ритмов головного мозга: δ (1-4 Гц), θ (4-8 Гц), α (8-13 Гц), β (13-30 Гц) и γ (30-40 Гц) с использованием быстрого преобразования Фурье (эпохи по четыре секунды, перекрытие 50%). В окончательный анализ включены значения когерентности в альфа- и бета-диапазонах как наиболее информативные для оценки сенсомоторной интеграции: Cz – центральная область, срединная (вертекс); C3, C4 – центральная область, соответственно левое и правое полушария; F3, F4 – лобная область; P3, P4 – теменная область; T3, T4 – височная область; их межполушарные и внутриполушарные пары: F3–C3, F4–C4, C3–P3, C4–P4, F7–T3 и F8–T4.

Статистическая обработка данных проведена с использованием SPSS v. 26.0 и MS Excel. Проверка нормальности проведена с применением критерия Шапиро-Уилка (распределение отличалось от нормального); для оценки взаимосвязей использован коэффициент корреляции Пирсона (r), выбор которого обоснован линейным характером гипотезы, робастностью к умеренным нарушениям нормальности и возможностью применения Z-преобразования Фишера для сравнения корреляций между группами. Дополнительный корреляционный анализ по Спирмену подтвердил устойчивость результатов.

В результате решения задачи по оптимизации количества параметров, включенных в корреляционный анализ (во избежание проблемы множественных сравнений [11]), нами проведен их отбор с учетом информативности и специфичности для оценки функционального состояния исследуемых систем у спортсменов-кикбоксеров; использован метод индексов, интегрирующих в себе показатели, которые характеризуют одну и ту же сторону процесса.

Обоснованность выбора стабилометрических показателей подтверждается данными литературы. Так, в исследованиях постуральной устойчивости боксеров показано, что скорость перемещения центра давления и площадь статокинезиограммы являются ключевыми маркерами функции равновесия, отражая эффективность позного контроля [12]. Специфичность двигательной техники в условиях лабильного двигательного стереотипа у единоборцев требует оперативного контроля постуральной устойчивости [13-15]. Предлагаемые нами стабилометрические показатели были стандартизированы, и на их основе рассчитаны интегральные индексы, характеризующие позную устойчивость спортсменов-единоборцев (табл. 1).

В корреляционный анализ значений когерентного анализа ЭЭГ, также были включены пары отведений ЭЭГ, отражающие корковый контроль позы и движений [3, 4, 16]. Например, известно, что отведение Cz и соседние с ним электроды демонстрируют максимальную когерентность со скоростью колебаний центра давления, что отражает механизм так называемой кортико-спинальной когерентности [17]. Из межполушарных (гомологичных) выбраны следующие пары: C3–C4, P3–P4, F3–F4 [18]; из внутриполушарных (передне-задних и латеральных): F3–C3, F4–C4, C3–P3, C4–P4, F7–T3 и F8–T4 [19, 20]. Учитывая фоновое состояние гипервентиляции в корреляционный анализ было включено 18 показателей когерентного анализа ЭЭГ.

Таким образом, окончательный корреляционный анализ показателей проведен раздельно для условий «открытые глаза», «закрытые глаза» и «повороты головы», а также для фоновой записи и гипервентиляции (с расчетом дельта-когерентности).

Таблица 1

Стабилометрические показатели и интегральные индексы постуральной функции

Показатель	Индекс	Интерпретация
Максимальная амплитуда флуктуаций (МАФ)	Постуральная стабильность (ПС) ПС = 1 / (СОЦД + ПСКГ + МАФ)	Отражение обратной величины к нестабильности позы
Скорость общего центра давления (СОЦД)		
Площадь статокинезиограммы (ПСКГ)		
Отношение ПСКГ с открытыми и с закрытыми глазами (ОПСКГ)	Сенсорная независимость (СН) СН = ОПСКГ / ДКР	Степень влияния зрительной депривации на позную устойчивость
Динамический коэффициент Ромберга (ДКР)		
Скорость вариабельности – среднеквадратичное отклонение скорости (СВ)	Автоматизация (АВТ) АВТ = 1 / (СВ × ИР)	Оценка плавности и автоматизма при поддержании позы
Индекс ритмичности (ИР)		

Анализ связей показателей ЭЭГ-когерентности и стабилометрии, на наш взгляд, позволит проверить гипотезу, отражающую процессы «нейромоторного интерфейса» непроизвольного контроля движений и усилий у кикбоксеров с различным уровнем спортивного мастерства с различной организацией нейробиомеханики техники их движений.

Учитывая тот факт, что когерентность ЭЭГ – это мера синхронизации активности нейронов участков коры, а стабилометрия – это векторная сумма десятков мышечных сокращений, управляемых спинным мозгом, мозжечком, базальными ганглиями и, собственно, корой, то связь между ними не прямая, а опосредованная. По данным литературы, такая связь опосредуется таламусом, его селективной функцией или блокированием сигналов, мозжечком (корректирующим ошибки) и экстрапирамидной системой [21], формирующей и контролирующей мышечный тонус, необходимый для поддержания вертикальной позы и выполнения автоматизированных двигательных программ [22]. При этом очевидным становится и прогнозируется относительно низкая теснота связей в системе параметров «ЭЭГ-когерентность – стабилограмма».

При сравнении группы обследованных спортсменов в качестве частных гипотез предлагается рассматривать лишь корреляции, характеризующие контроль позы и движений у кикбоксеров на основе трех нейрофизиологических механизмов:

1) «межполушарная синхронизация моторной коры» – «постуральная стабильность»;

2) «лобно-моторная когерентность – автоматизация»;

3) «височно-лобная интеграция – сенсорная независимость».

В итоговый дизайн включены 9 априорных вероятностных корреляций (табл. 2). Все остальные возможные корреляции рассматривались как разведочные и не входили в проверку рабочей гипотезы.

Основная гипотеза исследования заключалась в том, что у спортсменов высокой квалификации паттерны взаимосвязей между показателями когерентности ЭЭГ и стабилометрическими индексами будут качественно отличаться от таковых у спортсменов с низкой квалификацией. На основании нейрофизиологических

данных о роли височно-лобных и лобно-центральных сетей в постуральном контроле [3] мы предполагали, что у кикбоксеров с высокой квалификацией могут наблюдаться специфические усиленные корреляции, отражающие эффективную корковую интеграцию сенсорной и моторной информации.

Таблица 2

Вероятностные корреляции параметров когерентного анализа ЭЭГ и стабилометрии у высококвалифицированных кикбоксеров в различных состояниях и условиях функционального тестирования

ЭЭГ-пара (состояние)	Стабилометрический параметр (условие)	Обоснование ожидаемого результата
C3–C4 (фон)	ПС (открытые глаза)	Межполушарная синхронизация моторной коры обеспечивает симметричную устойчивость при зрительном контроле
	ПС (закрытые глаза)	При закрытых глазах компенсаторная роль межполушарной когерентности возрастает (маркер адаптации)
F3–C3 (фон)	АВТ (открытые глаза)	Лобно-моторный контроль правой руки – основа автоматизации позы
	АВТ (поворот направо, открытые глаза)	Сохранение автоматизации при вестибулярной нагрузке (поворот в доминантную сторону)
F7–T3 (фон)	СН (поворот налево, открытые глаза)	Левосторонняя вестибулярная интеграция обеспечивает сенсорную независимость при повороте головы
	СН (поворот налево, закрытые глаза)	Экстремальное условие (вестибулярная нагрузка без зрительного контроля) – проверка вестибулярной компенсации
F8–T4 (фон)	СН (поворот направо, открытые глаза)	Правосторонняя вестибулярная интеграция (пространственный слух и баланс)
ΔF4–C4 (ГВ – фон)	ПС (поворот налево, открытые глаза)	Реакция на гипервентиляцию: у мастеров рост когерентности связан со снижением постуральной стабильности (маркер перенапряжения)
	ПС (поворот налево, закрытые глаза)	Стресс-тест правого полушария: гипервентиляция на фоне зрительной депривации

Примечание: C3, C4 – центральная область, соответственно левое и правое полушария; F3, F4 – лобная область; T3, T4 – височная область; их межполушарные и внутриполушарные пары: F3–C3, F4–C4, F7–T3 и F8–T4; ЭЭГ – электроэнцефалограмма; ГВ – гипервентиляция; Δ – прирост за счет гипервентиляции; ПС – постуральная стабильность; СН – сенсорная независимость; АВТ – автоматизация.

Результаты исследования и их обсуждение. Априорные гипотезы о связях межполушарной (C3–C4) и лобно-моторной (F3–C3) когерентности с индексами постуральной стабильности и автоматизацией не подтвердились (все $r<0,30$ при $p>0,05$). Однако в ходе разведочного анализа выявлены сильные корреляции в височно-лобных отведениях (табл. 3). Полученные результаты демонстрируют неожиданный, но объяснимый с точки зрения нейрофизиологии эффект. В группе спортсменов с НК выявлены сильные корреляции (r – до 0,85-0,88) между когерентностью ЭЭГ в височно-лобных отведениях (F7–T3, F8–T4) со стабилометрическими индексами (ПС, СН). Можно сделать предварительный вывод о том, что у кикбоксеров с НК кора головного мозга синхронизирует свою работу для сохранения равновесия, особенно в условиях сенсорной депривации (проб с закрытыми глазами и поворотом головы), а также при гипервентиляции, что согласуется с ранее полученными результатами [23]. Разведочный корреляционный анализ выявил большое число взаимосвязей исследуемых показателей у спортсменов с НК, у спортсменов с ВК этой связи нет,

что косвенно отражает автоматизацию контроля [6].

В группе спортсменов с ВК эти корреляции отсутствуют или имеют противоположный знак (например, фоновый F8–T4 с индексом «Сенсорная независимость» (поворот налево, открытые глаза), r=0,353), тогда как у спортсменов массовых разрядов связь указанных показателей r=-0,726. Отрицательная связь между когерентностью F8–T4 и индексом сенсорной независимости у спортсменов с НК может отражать неэффективную вестибулярную интеграцию: чем выше синхронизация в правой височно-лобной сети, тем более зависим спортсмен от зрения для поддержания позы. У спортсменов с ВК эта связь отсутствует, что указывает на эффективную вестибулярную компенсацию.

Можно предварительно заключить, что с ростом мастерства постуральный контроль автоматизируется и переходит на субкортикальный уровень (мозжечок, базальные ганглии, ствол мозга). Кора головного мозга перестает быть критическим звеном в поддержании статической позы, что и проявляется в представленном паттерне корреляций.

Таким образом, ключевым нейрофизиологическим коррелятом квалификации в кикбоксинге является не усиление, а ослабление корково-постуральных связей, что согласуется с теорией автоматизации двигательных навыков и данными о смещении эфферентного управления на уровень стволовых и мозжечковых структур у квалифицированных спортсменов [6].

Таблица 3

Значимые коэффициенты корреляции параметров когерентного анализа ЭЭГ и стабилометрии у кикбоксеров различной квалификации

Корреляционная пара	КВ (n=10)	НК (n=10)	Z-Фишера	p-уровень
F7–T3 (Ф) – ПС (ПЛЗГ)	-0,117	0,775	2,89	0,004
F7–T3 (Ф) – СН (ПЛЗГ)	-0,184	0,689	2,57	0,010
F8–T4 (Ф) – СН (ПЛОГ)	0,353	-0,726	3,21	0,001
F8–T4 (ГВ) – ПС (ОСЗГ)	0,400	-0,685	2,98	0,003

Примечание: F7–T3 и F8–T4 – межполушарные и внутриполушарные пары лобной и височной областей; ЭЭГ – электроэнцефалограмма; КВ – квалифицированные спортсмены, НК – спортсмены низкой квалификации; Ф – фоновая запись ЭЭГ; ГВ – гипервентиляция; ПС – индекс постуральной стабильности; СН – индекс сенсорной независимости; ОГ – открытые глаза; ЗГ – закрытые глаза; ПЛ – поворот головы влево; ОС – основная стойка.

Первоначальное предположение об усилении корково-постуральных связей у спортсменов с ВК не подтвердилось. В результате апостериорного уточнения гипотезы, обнаружен эффект, противоположный ожидаемому: в группе спортсменов с НК выявлены многочисленные сильные корреляции, тогда как у лиц с ВК они практически отсутствуют.

Заключение. Полученные результаты позволяют уточнить нейрофизиологическую модель кортико-мускулярной когерентности: с ростом квалификации постуральный контроль автоматизируется и переходит на субкортикальный уровень, что проявляется в снижении силы связей и сокращении количества корреляций между показателями корковой синхронизации и стабилометрии. Такой результат согласуется с данными о переходе контроля на субкортикальный уровень (стволовые центры, мозжечок и базальные ганглии) двигательных навыков у высококвалифицированных спортсменов [6] и не противоречит исходной гипотезе о качественных различиях паттернов между группами, но требует пересмотра направления ожидаемых эффектов.

Результаты исследования позволяют рекомендовать использование показателей височно-лобной когерентности ЭЭГ в качестве нейрофизиологического маркера эффективности постурального контроля у кикбоксеров. Перспективным направлением исследований является изучение динамики этих показателей в процессе многолетней подготовки и их связь с соревновательной надежностью спортсменов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаренко, А.С. Сравнительная характеристика постурального контроля у спортсменов в условиях различных функциональных нагрузок / А.С. Назаренко, Ф.А. Мавлиев, Р.А. Юсупов // Теория и практика физической культуры. – 2026. – № 2. – С. 15-17.
2. Chmiel, J. Application of Electroencephalography (EEG) in Combat Sports-Review of Findings, Perspectives, and Limitations / J. Chmiel, J. Nadobnik // Journal of Clinical Medicine. – 2025. – Vol. 14. – Art. ID 4113. DOI: 10.3390/jcm 14124113.
3. Dieterich, M. The parietal lobe and the vestibular system (Chapter 6): Handbook of Clinical Neurology / M. Dieterich, T. Brandt // Elsevier. – 2018. – Vol. 151. – P. 119-140. DOI: 10.1016/ B978-0-444-63622-5.00006-1.
4. Role of handedness-related vestibular cortical dominance upon the vestibular-ocular reflex / Q. Arshad, M. Patel, U. Goga [et al.] // Journal of Neurology. – 2015. – Vol. 262. – P. 1069-1071. DOI: 10.1007/s00415-015-7690-y.
5. Murray, J.M. Remembrance of things practiced with fast and slow learning in cortical and subcortical pathways / J.M. Murray, G.S. Escola // Nature Communications. – 2020. – Vol. 11. – P. 6441. DOI: 10.1038/s41467-020-19788-5.
6. The mind of expert motor performance is cool and focused / J. Milton, A. Solodkin, P. Hlustík, S.L. Small // Neuroimage. – 2007. – Vol. 35(2). – P. 804-813. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007. 01.003.
7. Crawley, F.P. Declaration of Helsinki: Full paragraph-by-paragraph comparison indicating changes in version 19 October 2024 compared with the most previous version of 19 October 2013 // Zenodo. – 2024. – URL: https://zenodo.org/ records/13997192 (дата обращения: 20.03.2026).
8. Постников, Н.К. Обоснование эффективности использования метода стабилометрии для контроля постурального баланса спортсменов / Н.К. Постников, А.В. Санникова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2024. – № 2-2(89). – С. 12-14. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-2-2-12-14.
9. Иванов, Л.Б. Когерентный анализ в электроэнцефалографии. Перспективы и проблемы применения когерентного анализа в практике ЭЭГ (лекция первая) / Л.Б. Иванов // Медицинский алфавит. – 2023. – № 7. – С. 7-16. DOI: 10.33667/2078-5631-2023-7-7-16
10. Зенков, Л.Р. Клиническая электроэнцефалография с элементами эпилептологии / Л.Р. Зенков. – М.: МЕДпресс-информ, 2016. – 360 с.
11. Наркевич, А.Н. Множественные сравнения в биомедицинских исследованиях: проблема и способы решения / А.Н. Наркевич, К.А. Виноградов, А.М. Гржибовский // Экология человека. – 2020. – № 10. – С. 55-64. DOI: 10.33396 / 1728-0869-2020-10-55-64.
12. Improving training of boxers based on the assessment of stabilometric indicators / D. Viktorov, V. Leshukov, A. Shakhovskiy, A. Bakushin // Journal of Physical Education and Sport. – 2019. – Vol. 19(4). – P. 2539-2544. DOI: 10.7752/jpes.-2019.04386.
13. Нопин, С.В. Характеристики постурального контроля движений спортсменов различных видов спорта с позиции формирования двигательного динамического стереотипа / С.В. Нопин, Ю.В. Корягина, Ю.В. Кушнарева // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 2. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_ 06_02_47.
14. Postural control in high-level kata and kumite karatekas / G.C. Gauchard, A. Lion, L. Bento [et al.] // Movement and Sport Sciences – Science and Motricité. – 2018. – Vol. 100. – No. 2. – P. 21-26. DOI: 10.1051/sm/2017005.
15. Савин, А.А. Сравнительный анализ регуляции вертикальной позы у борцов разной спортивной квалификации / А.А. Савин, А.Д. Викулов, А.А. Мельников // Ярославский педагогический вестник. – 2010. – Т. 3. – № 4. – С. 98-103.
16. Varghese, J.P. Activity in Functional Cortical Networks Temporally Associated with Postural Instability / J.P. Varghese, W.R. Staines, W.E. McIlroy // Neuroscience. – 2019. – Vol. 401. – P. 43-58. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2019.01.008.
17. Corticopostural functional and effective connectivity reveal cortical control of postural sway velocity during quiet standing / M. Fauvet, C. Ziane, L. Archambault-Levesque [et al.] // bioRxiv. – 2023. – P. 571767. DOI: 10.1101/2023.12.14.571767.
18. Electroencephalographic Correlates of Continuous Postural Tasks of Increasing Difficulty / A.E. Edwards, O. Guven, M.D. Furman [et al.] // Neuroscience. – 2018. – Vol. 395. – P. 35-48. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2018.10.040.
19. Cortical Activity During Postural Recovery in Response to Predictable and Unpredictable Perturbations in Healthy Young and Older Adults: A Quantitative EEG Assessment / Z. Saadat, E.

Sinaei, S. Pirouzi [et al.] // Basic and Clinical Neuroscience. – 2021. – Vol. 12(2). – P. 291-300. DOI: 10.32598/bcn.12.2.453.1
20. Neuroimaging and cognitive correlates of postural control in Parkinson's disease: a systematic review / P. Tait, L. Graham, R. Vitorio [et al.] // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. – 2025. – Vol. 22. – P. 24. DOI: 10.1186/s12984-024-01539-y.
21. Bosch-Bouju, C. Motor thalamus integration of cortical, cerebellar and basal ganglia information: implications for normal and parkinsonian conditions / C. Bosch-Bouju, B.I. Hyland, L.C. Parr-Brownlie // Frontiers in Computational Neuroscience. – 2013. – Vol. 7. – P. 163. DOI: 10.3389/fncom.2013.00163.
22. Lee, J. Neuroanatomy, Extrapyramidal System / J. Lee, M.R. Muzio // StatPearls. – Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2026. – URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554542/?report=reader#_NBK554542_pubdet_ (дата обращения: 22.04.2026).
23. Slobounov, S. Alteration of posture-related cortical potentials in mild traumatic brain injury / S. Slobounov, W. Sebastianelli, R. Moss // Neuroscience Letters. – 2005. – Vol. 383(3). – P. 251-255. DOI: 10.1016/j.neulet.2005.04.039.

REFERENCES

1. Nazarenko A.S., Mavliev F.A., Yusupov R.A. Comparative characteristics of postural control in athletes under different functional loads. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2026, no. 2, pp. 15-17. (in Russ.)
2. Chmiel J., Nadobnik J. Application of Electroencephalography (EEG) in Combat Sports-Review of Findings, Perspectives, and Limitations. *Journal of Clinical Medicine*, 2025, vol. 14, art. ID 4113. DOI: 10.3390/jcm14124113.
3. Dieterich M., Brandt T. The parietal lobe and the vestibular system (Chapter 6). Handbook of Clinical Neurology. Vallar G., Coslett H.B., ed. Elsevier. 2018, vol. 151, pp. 119-140. DOI: 10.1016/B978-0-444-63622-5.00006-1.
4. Arshad Q., Patel M., Goga U. et al. Role of handedness-related vestibular cortical dominance upon the vestibular-ocular reflex. *Journal of Neurology*, 2015, vol. 262, pp. 1069-1071. DOI: 10.1007/s00415-015-7690-y.
5. Murray J.M., Escola G.S. Remembrance of things practiced with fast and slow learning in cortical and subcortical pathways. *Nature Communications*, 2020, vol. 11, p. 6441. DOI: 10.1038/s41467-020-19788-5.
6. Milton J., Solodkin A., Hlustík P., Small S.L. The mind of expert motor performance is cool and focused. *Neuroimage*, 2007, vol. 35(2), pp. 804-813. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007.01.003.
7. Crawley F.P. Declaration of Helsinki: Full paragraph-by-paragraph comparison indicating changes in version 19 October 2024 compared with the most previous version of 19 October 2013. *Zenodo*, 2024. URL: https://zenodo.org/records/13997192 (accessed: 20.03.2026)
8. Postnikov N.K., Sannikova A.V. Substantiation of the effectiveness of using the stabilometry method to control the postural balance of athletes. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2024, vol. 2-2(89), pp. 12-14. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-2-2-12-14. (in Russ.)
9. Ivanov L.B. Coherence analysis in electroencephalography. prospects and problems of using coherent analysis in EEG practice (lecture one). *Medical alphabe*t, 2023, no. 7, pp. 7-16. DOI: 10.33667/2078-5631-2023-7-7-16. (in Russ.)
10. Zenkov L.R. Clinical electroencephalography with elements of epileptology. Moscow: MEDpress-inform Publ, 2016. 360 p. (in Russ.).
11. Narkevich A.N., Vinogradov K.A., Grjibovski A.M. Multiple comparisons in biomedical research: the problem and its solutions. *Human Ecology*, 2020, no. 10, pp. 55-64. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-10-55-64. (in Russ.)
12. Viktorov D., Leshukov V., Shakhovskiy A., Bakushin A. Improving training of boxers based on the assessment of stabilometric indicators. *Journal of Physical Education and Sport*, 2019, vol. 19(4), pp. 2539-2544. DOI: 10.7752/jpes.2019.04386.
13. Nopin S.V., Koryagina Yu.V., Kushnareva Yu.V. Characteristics of postural motion control of athletes of various sports from the position of dynamic motor stereotype formation. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 2. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_47. (in Russ.).
14. Gauchard G.C., Lion A., Bento L., Perrin Ph.P., Ceyte H. Postural control in high-level kata and kumite karatekas. *Movement and Sport Sciences – Science and Motricité*, 2018, vol. 100, pp. 21-26. DOI: 10.1051/sm/2017005.
15. Savin A.A., Vikulov A.D., Melnikov A.A. Comparison of postural control of wrestlers with different sports qualification. *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*, 2010, vol. 3(4), pp. 98-103. (in Russ.)
16. Varghese J.P., Staines W.R., McIlroy W.E. Activity in Functional Cortical Networks Temporally Associated with Postural Instability. *Neuroscience*, 2019, vol. 401, pp. 43-58. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2019.01.008.
17. Fauvet M., Ziane C., Archambault-Levesque L., Fornerone T., Maso F.D. Corticopostural functional and effective connectivity reveal cortical control of postural sway velocity during quiet

standing. *bioRxiv*, 2023, p. 571767. DOI: 10.1101/2023.12.14.571767.
18. Edwards A.E., Guven O., Furman M.D. et al. Electroencephalographic Correlates of Continuous Postural Tasks of Increasing Difficulty. *Neuroscience*, 2018, vol. 395, pp. 35-48. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2018.10.040.
19. Saadat Z., Sinaei E., Pirouzi S., Ghofrani M., Nami M. Cortical Activity During Postural Recovery in Response to Predictable and Unpredictable Perturbations in Healthy Young and Older Adults: A Quantitative EEG Assessment. *Basic and Clinical Neuroscience*, 2021, vol. 12(2), pp. 291-300. DOI: 10.32598/bcn.12.2.453.1.
20. Tait P., Graham L., Vitorio R. et al. Neuroimaging and cognitive correlates of postural control in Parkinson's disease: a systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2025, vol. 22, p. 24 (2025). DOI: 10.1186/s12984-024-01539-y.
21. Bosch-Bouju C., Hyland B.I., Parr-Brownlie L.C. Motor thalamus integration of cortical, cerebellar and basal ganglia information: implications for normal and parkinsonian conditions. *Frontiers in Computational Neuroscience*. 2013, vol. 7, p. 163. DOI: 10.3389/fncom.2013.00163.
22. Lee J., Muzio M.R. Neuroanatomy, Extrapyramidal System. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554542/?report=reader#_NBK554542_pubdet_ (accessed: 22.04.2026).
23. Slobounov S., Sebastianelli W., Moss R. Alteration of posture-related cortical potentials in mild traumatic brain injury. *Neuroscience Letters*, 2005, vol. 383(3), pp. 251-255. DOI: 10.1016/j.neulet.2005.04.039

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Юрий Николаевич Романов – доктор биологических наук, профессор кафедры спортивного совершенствования, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, e-mail: romanovyn@susu.ru.
Павел Азифович Байгужин – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник НИЦ спортивной науки, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, e-mail: baiguzhinpa@susu.ru.
Анастасия Павловна Павлова – студент, Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, e-mail: pavlovaap19@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Yury N. Romanov – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Sports Improvement, South Ural State University, Chelyabinsk, e-mail: romanovyn@susu.ru.
Pavel A. Bayguzhin – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Sports Science Research Center, South Ural State University, Chelyabinsk, e-mail: baiguzhinpa@susu.ru.
Anastasia P. Pavlova – Student, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, e-mail: pavlovaap19@mail.ru.

Для цитирования: Романов, Ю.Н. Анализ функциональных связей между когерентностью электроэнцефалограммы и постуральной стабильностью у кикбоксеров высокой и низкой квалификации / Ю.Н. Романов, П.А. Байгужин, А.П. Павлова // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_17

For citation: Romanov Yu.N., Baiguzhin P.A., Pavlova A.P. Analysis of functional relationships between electroencephalogram coherence and postural stability in high- and low-skilled kickboxers. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_17