Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_7
УДК 796.912:6123-38

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_7
UDC 796.912:6123-38

# БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ M. GASTROCNEMIUS MEDIALIS В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ У ФИГУРИСТОК ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СТАБИЛОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕСТОВ

**Н.Н. Захарьева, Д.А. Рыбкин**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Россия

**Аннотация.** ***Введение.*** В статье представлены результаты исследования биоэлектрической активности m. gastrocnemius medialis у 24 фигуристок высокой квалификации при выполнении стабилометрических тестов. ***Методы.*** Использованы компьютерная стабилометрия, поверхностная электромиография, психофизиологическое тестирование (реакция на движущийся объект, отмеривание отрезков, тест «URA»). По стратегии равновесия спортсменки разделены на группу 1 (голеностопная) и группу 2 (тазобедренная). ***Результаты.*** У фигуристок группы 2 отмечены более высокие показатели RMS, RMS/t, большее число всплесков электромиографии и рост высокочастотных компонентов стабилограммы при снижении низкочастотной мощности ($p<0,05$). Спортсменки группы 2 в 100% случаев имели травмы опорно-двигательного аппарата. ***Заключение.*** Голеностопная стратегия экономичнее и устойчивее, тазобедренная энергозатратна и связана с травматизмом. Психофизиологические различия между группами указывают на неоднородность регуляторных механизмов. Данные могут быть полезны для мониторинга фигуристок и профилактики травм опорно-двигательного аппарата.

**Ключевые слова:** фигурное катание, стабилометрия, электромиография, m. gastrocnemius medialis, постуральный контроль, стратегии равновесия, спортивный травматизм, миоработа.

# BIOELECTRIC CHARACTERISTICS OF M. GASTROCNEMIUS MEDIALIS IN PROVIDING POSTURAL CONTROL OF HIGHLY QUALIFIED FIGURE SKATERS PERFORMING STABILOMETRIC TESTS

**N.N. Zakharyeva, D.A. Rybkin**
Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russia

**Abstract.** ***Introduction.*** The results of a study on bioelectrical activity of the m. gastrocnemius medialis in 24 highly qualified figure skaters performing stabilometric tests are presented. ***Methods.*** Computer stabilometry, surface electromyography, and psychophysiological testing (reaction to a moving object, segment estimation, “URA” test) were used. According to the strategy of balance, athletes were divided into group 1 (ankle) and group 2 (hip). ***Results.*** The data from group 2 has demonstrated higher RMS, RMS/t, more electromyography bursts, and increased high-frequency stabilogram components with reduced low-frequency power ($p<0.05$). 100% of group 2 had a history of musculoskeletal injuries. ***Conclusion.*** The ankle strategy is more efficient and stable, while the hip strategy is more energy consuming and injury-associated. Psychophysiological differences between groups indicate unevenness of regulatory mechanisms. The data received may be applied in monitoring and prevention of musculoskeletal injuries.

**Keywords:** figure skating, stabilometry, electromyography, m. gastrocnemius medialis, postural control, balance strategies, sports injuries, myoactivity.

**Введение.** В фигурном катании способность сохранять устойчивое положение тела при выполнении прыжков, вращений, шагов и поддержек требует тонкой регуляции мышечного тонуса, особенно в голеностопном суставе, который выполняет роль основного биомеханического звена во взаимодействии с опорой [1, 2]. Среди мышц, обеспечивающих постуральную устойчивость, особое место занимает m. gastrocnemius medialis (медиальная икроножная мышца). Особая роль m. gastrocnemius medialis в поддержании равновесия отмечена благодаря анатомическому расположению и физиологическим свойствам: высокой плотности мышечных веретен и участию в формировании проприоцептивной обратной связи [3-5].

M. gastrocnemius medialis может активно участвовать в тонкой регуляции положения центра давления (ЦД) во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Однако, большинство исследований постурального контроля в фигурном катании либо носят биомеханический характер (оценка кинематических и динамических характеристик или проведение стабилометрических исследований, но без измерения электромиограммы (ЭМГ)), либо ограничиваются оценкой суммарной активности мышц голени без разделения на медиальную и латеральную мышцы [2-4, 6]. В литературе имеются исследования, которые показывают, что m. gastrocnemius medialis обладает независимой направленной настройкой и способна генерировать специфические корректирующие моменты в голеностопном суставе, что необходимо для поддержания равновесия [5, 7]. Кроме того, ее активность напрямую связана с управлением положением тела при наклоне вперед, а низкочастотные нейронные сигналы к этой мышце являются важным механизмом контроля позы [4]. Изучение активности m. gastrocnemius medialis у фигуристок высокой спортивной квалификации помогает понять, как организм приспосабливается к физическим нагрузкам, требующим поддержания равновесия на этапе совершенствования спортивного мастерства: к многочасовым тренировкам на высокую и точечную координацию движений, быстрым вращениям и прыжкам. Систематическое выполнение фигуристками сложного контента двигательных программ формирует особые двигательные привычки, что находит отражение в характере мышечной работы и выборе стратегии поддержания равновесия.

Цель исследования – выявить характеристики биоэлектрической активности m. gastrocnemius medialis в обеспечении постурального контроля у фигуристок высокой квалификации при выполнении стабилометрических тестов.

**Методы и организация исследования.** Исследование проводилось на базе Научно-исследовательского института спорта и спортивной медицины Российского университета спорта «ГЦОЛИФК» (Россия, г. Москва), в лаборатории научно-методического обеспечения подготовки спортсменов сборных команд в январе-марте 2026 года. В физиологическом эксперименте участвовали 24 спортсменки высокой квалификации (кандидаты в мастера спорта и мастера спорта), специализирующиеся в женском одиночном фигурном катании на коньках. Возраст спортсменок составил в среднем 19±0,4 лет (18-19 лет), стаж регулярных тренировок в среднем составил 11±1,35 лет. Все участницы физиологического эксперимента активно тренируются и регулярно выступают на международных и всероссийских соревнованиях.

Методы исследования включали:

1) компьютерную стабилометрию, выполненную на отечественном стабилоанализаторе – диагностическом комплексе с биологической обратной связью «Стабилан-01-2» (ЗАО «РИТМ», Россия);

2) поверхностную электромиографию (пЭМГ) с использованием беспроводного четырехканального электромиографа «Callibri Muscle Tracker» (ООО НМФ «Нейротех», Россия).

Для оценки качества работы сенсорного звена постуральной системы изучали реакции сенсорных систем на биологически значимые раздражители. Для этого использовались комплекс методик, выполненных спортсменками в компьютерной программе «Исследователь временных и пространственных свойств человека версия 2.1», и трехэтапный тест умственной работоспособности «URA».

Протокол исследования предусматривал последовательную оценку постурального контроля в условиях статического равновесия и при провокации динамической неустойчивости. Для стандартизации процедуры перед основными измерениями у испытуемых определяли ведущую (опорную) нижнюю конечность. С этой целью применялся комплекс из трех моторных проб:

1) тест «Ударная точность» (имитация замаха и удара по воображаемому мячу);

2) тест «Шаговое доминирование» (однократное восхождение на степ-платформу с последующим возвратом);

3) тест «Ротационная стабилизация» (последовательные повороты туловища на

90° вправо и влево с фиксацией позы на одной ноге в положении «ласточка»).

Во время выполнения проб параллельно проводилась регистрация ЭМГ-сигналов с целью оценки активности медиальной икроножной мышцы. Датчики пЭМГ накладывались на брюшко медиальной головки икроножной мышцы в соответствии с Европейскими рекомендациями проекта SENIAM (Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles – пЭМГ для неинвазивной оценки мышц), которые предписывают размещение электродов по наиболее выступающему контуру мышцы вдоль линии, проходящей от коленного сустава до пяточной кости [8, 9]. После выполнялись два основных стабилометрических теста: «Мишень» и проба Ромберга, каждый длительностью по 20 секунд. Прямая аппаратная синхронизация между датчиками «Callibri» и стабилоплатформой отсутствовала, поэтому в начале каждого теста испытуемые выполняли кратковременное подседание, создающее общий маркер на ЭМГ (всплеск активности икроножной мышцы) и стабилограмме (резкое изменение реакции опоры и центра давления). В среде Microsoft Excel 2016 временные ряды выравнивались по зарегистрированным пикам вручную. Точность метода оценена в трех тестах: разброс маркера не превышал ±0,1 с, что на порядок меньше анализируемых параметров.

Для идентификации стратегии равновесия (голеностопной или тазобедренной) мы опирались на стабилометрические параметры, детально описанные в работах Д.В. Скворцова: частотные (60%Pw(F), 60%Pw(S) – уровни 60% мощности спектра во фронтальной (F) и сагиттальной (S) плоскостях), скоростные (средняя скорость ЦД, линейная скорость средняя) и пространственные показатели (площадь эллипса, Qx/Qy, индексы кривизны) [10, 11]. Согласно данным биомеханического моделирования, изменения координат ЦД во фронтальной плоскости наиболее тесно связаны с динамикой моментов в тазобедренных суставах, что позволяет использовать указанные параметры для диагностики переключения постуральной стратегии. Для количественной оценки биоэлектрической активности m. gastrocnemius medialis применялся метод расчета среднеквадратического значения амплитуды (RMS, root mean square) по следующей формуле:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i^2},$$

где $x_i^2$ – значения амплитуды ЭМГ-сигнала в i-й момент времени,

N – количество отсчетов в анализируемом интервале.

Для характеристики мышечной работы (миоработы) за единицу времени дополнительно рассчитывался показатель RMS/t:

$$RMS/t = \frac{RMS}{T},$$

где T – длительность анализируемого временного интервала (с).

Данный параметр позволяет оценить интенсивность биоэлектрической активности мышцы, нормированную по времени выполнения теста.

Анализ количества колебаний амплитуды ЭМГ-сигнала проводился графическим методом с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2016 (окно сглаживания составило 50 мс). Для этого строился график изменения RMS-амплитуды во времени. Всплеском (колебанием) считался участок ЭМГ-сигнала, амплитуда которого превышала среднее значение RMS, рассчитанное для всего временного ряда, при условии, что это среднее значение составляло не менее 5 мкВ (пороговый уровень, выбранный для минимизации влияния фонового шума и спонтанной активности мышцы). Подсчитывалось общее количество таких всплесков за время выполнения каждого стабилометрического теста, что соответствует общепринятым подходам к количественной обработке ЭМГ-данных [12-14]. Подсчитывалось общее количество таких всплесков за время выполнения каждого стабилометрического теста.

Параллельно с этим из диагностического комплекса «Стабилан-01-2» осуществлялся экспорт стабилограмм, представляющих собой траекторию перемещения ЦД во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Для каждого временного интервала, соответствующего зарегистрированному

всплеску RMS-амплитуды, определялись: среднее отклонение ЦД – усредненное расстояние от центра статокинезиограммы и максимальное отклонение ЦД – наибольшее расстояние от центра за тот же интервал.

Сопоставление временных рядов ЭМГ и стабилограммы осуществлялось путем синхронизации по временным меткам, что позволило оценить взаимосвязь между всплесками биоэлектрической активности m. gastrocnemius medialis и параметрами постуральных колебаний центра давления. Исследование проводилось в стандартизированных лабораторных условиях при температуре воздуха 22-24 °С и относительной влажности 45-55%. Все участницы физиологического эксперимента были проинформированы о безвредности тестирования и подписали протокол добровольного согласия на проведение тестирования, а сам эксперимент осуществлен в соответствии с Хельсинкской декларацией.

Критерии включения в группу обследования:

1) высокая спортивная квалификация фигуристок;

2) отсутствие острых респираторных инфекций, COVID-19 и обострения хронических заболеваний на момент проведения тестирования;

3) отсутствие менструальной, предменструальной и овуляторной фаз овариально-менструального цикла (ОМЦ) на момент проведения тестирования.

Критерии исключения из группы обследования:

1) отсутствие высокой спортивной квалификации фигуристок;

2) наличие острых респираторных инфекций, COVID-19 и обострения хронических заболеваний на момент проведения тестирования;

3) наличие менструальной, предменструальной и овуляторной фаз ОМЦ на момент проведения тестирования;

4) отсутствие мотивации к проведению физиологического тестирования.

Проверка на нормальность распределения данных по критерию Колмогорова-Смирнова и сравнительный анализ по t-критерию Стьюдента и U-критерию Манна-Уитни выполнялись с использованием программного пакета SPSS Statistics 27. Количественные показатели представлены медианой (Me) и стандартным отклонением (σ), для нормального распределения – средним арифметическим значением (M) и стандартным отклонением (σ).

**Результаты исследования и их обсуждение.** Обследованы 24 фигуристки высокой квалификации, активно тренирующиеся и регулярно участвующие в соревнованиях. Спортсменки разделены на 2 группы сравнения по принадлежности к выбору типа стратегии поддержания равновесия: 1 группа – 11 фигуристок с реализацией голеностопной стратегии; 2 группа – 13 спортсменок с тазобедренной стратегией. При анализе данных спортивного анамнеза выяснено, что фигуристки, использующие голеностопную стратегию, отмечают травмы опорно-двигательного аппарата в 33% случаев, а спортсменки, использующие тазобедренную стратегию, в 100% случаях имеют в анамнезе травмы нижних конечностей, перенесенные задолго до начала хода эксперимента. Примеры реализации спортсменками голеностопной и тазобедренной стратегий отражены на рисунке 1.

Результаты, представленные в рисунках, показаны по данным средних значений спортсменок на каждой из представленных стратегий. Как видно из рисунка 1А, при использовании фигуристками тазобедренной стратегии колебания амплитуды RMS (при подсчете пиков) значительно превышают колебания амплитуды RMS у фигуристок с голеностопной стратегией (рис. 1Б), что согласуется со сдвигами в перемещении центра давления во фронтальных и сагиттальных направлениях.

При выполнении фигуристками различных стабилометрических тестов изменения RMS ЭМГ-сигнала сопровождались соответствующими колебаниями ЦД. Полученные данные показали, что наибольшее количество всплесков во всех тестах зарегистрировано при использовании тазобедренной стратегии. В тесте «Мишень» при голеностопной стратегии отмечено 11 всплесков, при тазобедренной – 22; в пробе Ромберга со зрительным контролем (ОГ) – 12 и 18, а с ограничением зрительного контроля (ЗГ) – 16 и 20 всплесков,

соответственно. В тестах, требующих более сложной координации (особенно в тесте «Мишень»), применение тазобедренной стратегии регуляции позы сопровождается большим количеством высокоамплитудных всплесков ЭМГ икроножной мышцы по сравнению с менее энергозатратной голеностопной стратегией.

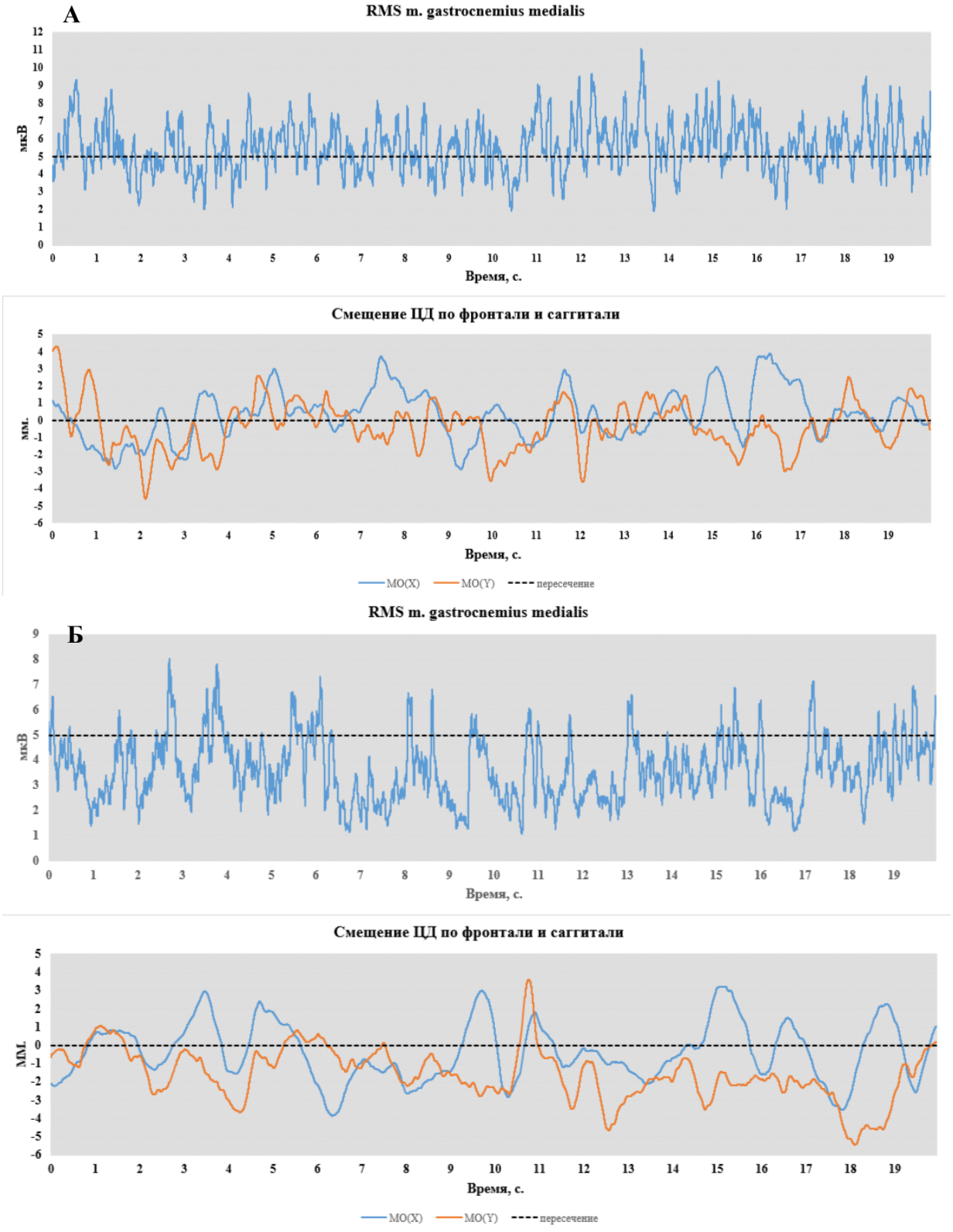



Рис. 1. А – пример реализации фигуристками тазобедренной стратегии, Б – пример реализации фигуристками голеностопной стратегии.

Примечание: ЦД – центр давления; RMS – среднеквадратическое значение амплитуды; МО – математическое ожидание положения ЦД по направлениям.

Различия значений стабилометрических параметров в тесте «Мишень» и расчетных показателей ЭМГ-сигнала представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, в группах сравнения выявлены различия по большинству показателей теста «Мишень». В группе с тазобедренной стратегией зафиксированы более высокие значения показателя отношения длины статокинезиограммы к общему разбросу (OD), средней амплитуды ЭМГ, площади ЭМГ-сигнала, количества всплесков RMS, отношения миоработы RMS/t и относительной амплитуды RMS%. Частотные характеристики спектра мощности (60%Pw(F), 60%Pw(S)) оказались выше в группе с тазобедренной стратегией, что является естественным для определения данной стратегии, а значения показателя F1(F) ниже (p=0,02).

Таблица 1

Сравнение стабилометрических и электромиографических показателей в тесте «Мишень» у фигуристок с голеностопной (n=11) и тазобедренной (n=13) стратегиями поддержания равновесия, Me±σ

| Параметр | Голеностопная стратегия (n=11) | Тазобедренная стратегия (n=13) | P< |
|---|---|---|---|
| Стабилометрические показатели | | | |
| OD, рад/с | 72,2±4,8 | 83,1±12,6 | 0,02 |
| F1(F), Гц | 0,42±0,13 | 0,12±0,04 | 0,02 |
| 60%Pw(F), Гц | 0,85±0,06 | 1±0,09 | 0,04 |
| Pw2(F), % | 77,5±2,41 | 73±1,29 | 0,04 |
| Pw3(F), % | 11±1,07 | 14±1,41 | 0,02 |
| 60%Pw(S), Гц | 0,82±0,07 | 1,02±0,22 | 0,04 |
| Pw3(S), % | 13±2,21 | 16,5±4,39 | – |
| ЭМГ-показатели | | | |
| m. gastrocnemius medialis – A. (ср), мкВ | 48±23,3 | 87±16,9 | 0,04 |
| m. gastrocnemius medialis – S., мВ*мс | 962±463,4 | 1737,5±345,1 | 0,04 |
| m. gastrocnemius medialis – кол-во всплесков RMS | 11±2,9 | 22±2,6 | 0,01 |
| m. gastrocnemius medialis – RMS/t | 4,3±1,8 | 9,8±1,6 | 0,01 |
| m. gastrocnemius medialis – RMS% | 3,1±0,8 | 5,5±1,2 | 0,04 |

Примечание: OD – отношение длины статокинезиограммы к среднему разбросу; F1 – частота первого пика; (F) – фронтальная плоскость; (S) – сагиттальная плоскость; 60%Pw – уровень 60% мощности спектра; Pw2 – мощность второй зоны; Pw3 – мощность третьей зоны; A. (ср) – исходный сигнал средней амплитуды; S. – площадь амплитуды сигнала; RMS – среднеквадратическое значение амплитуды; RMS/t – пройденный участок амплитуды за единицу времени; RMS% – средний процент пиков за отдельные участки амплитуды; разница статистически значима при p<0,05.

Сравнительный анализ стабилометрических параметров проведен с учетом методических подходов, предложенных в трудах Скворцова (2010), Кубряка (2022) [11, 15]. В качестве методологического ориентира для совместного с ЭМГ анализа мы опирались на исследование Vieira et al. (2009), которое показало, что RMS биоэлектрической активности m. gastrocnemius medialis является высокоинформативным показателем мышечной работы при выполнении постуральных тестов, а его изменения тесно связаны с динамикой изменений центра давления [16]. Сравнение стабилометрических и электромиографических показателей в тесте Ромберга с ОГ у фигуристок с голеностопной и тазобедренной стратегиями представлено в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, в пробе Ромберга, проведенной со зрительным контролем, отмечены значимые различия для показателя «Нормированная площадь векторограммы» и частотного показателя 60%Pw(S). На уровне тенденции (p<0,10) зарегистрированы более высокие значения отношения показателей OD, амплитуды вариации угловой скорости (АВУС). В значениях показателей ЭМГ установлены

тенденции различий следующих параметров: средней амплитуды, площади сигнала, количества всплесков RMS и отношения миоработы RMS/t. Необходимо отметить, что указанные отличия показателей стабилометрии и ЭМГ менее выражены в тесте Ромберга с ОГ, чем в тесте «Мишень», и часто носят характер тенденций.

Таблица 2

Сравнение стабилометрических и электромиографических показателей в тесте Ромберга со зрительным контролем у фигуристок с голеностопной и тазобедренной стратегиями, Me±σ

| Параметр | Голеностопная стратегия (n=11) | Тазобедренная стратегия (n=13) | P< |
|---|---|---|---|
| Стабилометрические показатели | | | |
| OD, рад/с. | 63,7±6,7 | 83,8±16,4 | – |
| НПВ, мм$^2$/с | 0,12±0,03 | 0,19±0,12 | 0,02 |
| АВУС, °/с | 19,6±2,7 | 23,7±2,2 | – |
| КАЛС с, % | 0,36±1,07 | 0,33±0,62 | 0,04 |
| 60%Pw(S), Гц | 0,85±0,08 | 1,13±0,09 | 0,01 |
| ЭМГ-показатели | | | |
| m. gastrocnemius medialis – A. (ср), мкВ | 48,5±27,8 | 92±18,2 | – |
| m. gastrocnemius medialis – S., мВ*мс | 972±554,6 | 1838±359,1 | – |
| m. gastrocnemius medialis – кол-во всплесков RMS | 12±2 | 18±5 | – |
| m. Gastrocnemius medialis – RMS/t | 5,8±2,1 | 9,9±2,2 | – |

Примечание: OD – отношение длины статокинезиограммы к среднему разбросу; НПВ – нормированная площадь векторограммы; АВУС – амплитуда вариации линейной скорости; КАЛС – коэффициент асимметрии линейной скорости; 60%Pw – уровень 60% мощности спектра; (S) – сагиттальная плоскость; A. (ср) – исходный сигнал средней амплитуды; S. – площадь амплитуды сигнала; RMS – среднеквадратическое значение амплитуды; RMS/t – пройденный участок амплитуды за единицу времени; разница статистически значима при $p<0,05$.

Таблица 3

Сравнение стабилометрических и электромиографических показателей в тесте Ромберга с закрытыми глазами у фигуристок с голеностопной и тазобедренной стратегиями, Me±σ

| Параметр | Голеностопная стратегия (n=11) | Тазобедренная стратегия (n=13) | P< |
|---|---|---|---|
| Стабилометрические показатели | | | |
| КРИНД, % | 6,5±1,3 | 14,4±4,5 | 0,02 |
| УСС, °/с | 15,1±1,6 | 23±4,3 | 0,02 |
| АВУС, °/с | 19,1±1,09 | 25,3±4,95 | 0,04 |
| 60%Pw(F), Гц | 0,7±0,12 | 0,9±0,18 | – |
| Pw2(F), % | 73,5±5,3 | 63,5±4,7 | 0,04 |
| Pw3(F), % | 9,5±0,7 | 17,5±3,1 | 0,01 |
| 60%Pw(S), Гц | 0,85±0,07 | 1,1±0,16 | – |
| Pw3(S), % | 14±2,1 | 21,5±3,1 | 0,02 |
| ЭМГ-показатели | | | |
| m. gastrocnemius medialis – A. (ср), мкВ | 52±14,3 | 96±35,6 | – |
| m. gastrocnemius medialis – S., мВ*мс | 1045±289,2 | 1877±703,9 | – |
| m. gastrocnemius medialis – RMS/t | 6,8±3,2 | 10,4±3,3 | – |

Примечание: КРИНД – коэффициент резкого изменения направления движения; УСС – средняя угловая скорость; АВУС – амплитуда вариации линейной скорости; 60%Pw – уровень 60% мощности спектра; Pw2 – мощность второй зоны; Pw3 – мощность третьей зоны; (F) – фронтальная плоскость; (S) – сагиттальная плоскость; A. (ср) – исходный сигнал средней амплитуды; S. – площадь амплитуды сигнала; RMS/t – пройденный участок амплитуды за единицу времени; разница статистически значима при $p<0,05$.

Сравнение вышеуказанных показателей в тесте Ромберга с закрытыми глазами (ЗГ) представлено в таблице 3.

В условиях отсутствия зрительного контроля зафиксировано наибольшее количество значимых различий между группами с разными постуральными стратегиями. В группе с тазобедренной стратегией статистически значимо выше оказались коэффициент резкого изменения направления движения, угловая скорость смещения ЦД, АВУС, а также спектральные показатели: доля мощности в высокочастотном диапазоне Pw3(F) и Pw3(S) при одновременном снижении доли низкочастотной мощности Pw2(F). Для частоты 60%Pw(F) также отмечена тенденция к повышению в группе с тазобедренной стратегией. Полученные результаты согласуются с литературными данными, согласно которым высокочастотные компоненты в спектре колебаний центра давления ассоциированы с реализацией тазобедренной стратегии постурального контроля [17, 18].

Как следует из полученных нами данных, представленных на рисунке 2, при сравнении усредненных и пиковых значений RMS m. gastrocnemius medialis в зависимости от выбранной стратегии поддержания равновесия установлено, что реализация тазобедренной стратегии сопровождается более высокими показателями по сравнению с голеностопной: превышение составляет 21% для усредненного значения и 15% для пикового.

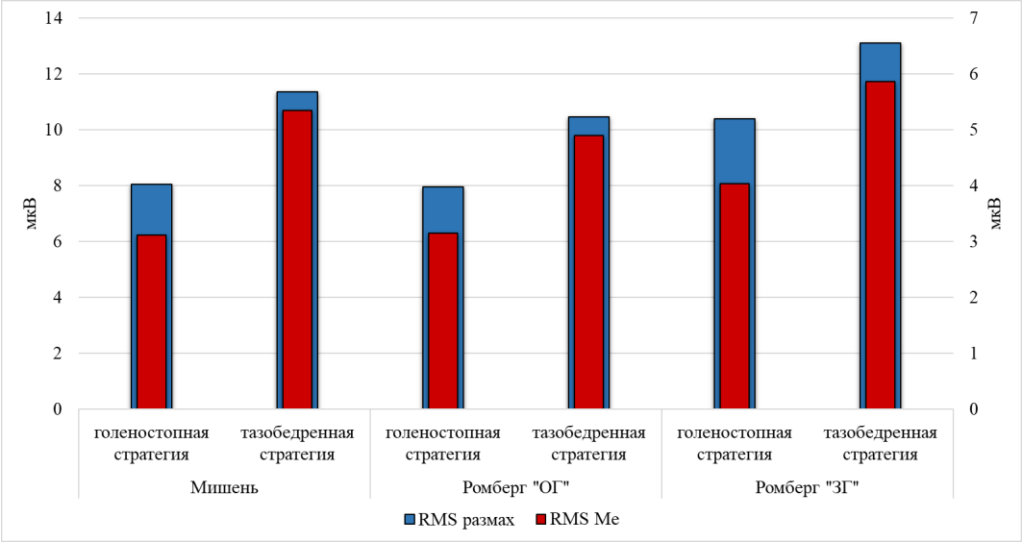



Рис. 2. Соотношение средней и максимальной RMS при голеностопной и тазобедренной стратегиях поддержания равновесия у фигуристок-одиночниц высокой квалификации
Примечание: RMS – среднеквадратическое значение амплитуды; ОГ – зрительный контроль (глаза открыты); ЗГ – глаза закрыты.

В тесте «Мишень» у спортсменок с тазобедренной стратегией смещения ЦД ниже, чем в группе голеностопной: X% – 19,87 против 23,96; Y% – 23,27 против 28,69. В пробе Ромберга с ОГ сохраняется аналогичная картина: X% – 32,35 против 35,43; Y% – 31,19 против 32,82. В пробе с ЗГ различия минимальны: X% – 26,92 против 26,66; Y% – 32,27 против 31,36. Наибольшее снижение величины отклонений ЦД при тазобедренной стратегии отмечено в тесте «Мишень» и пробе Ромберга с ОГ (рис. 3).

В тесте «Мишень» у испытуемых тазобедренной группы зарегистрирована более высокая амплитуда ЭМГ (пиковое значение RMS% – 12,02) по сравнению с группой голеностопной стратегии (8,19). Указанная закономерность сохраняется в пробе Ромберга с ОГ (10,94 против 8,31) и с ЗГ (13,77 против 10,41). При этом длительность одного колебания при использовании тазобедренной стратегии во всех тестовых заданиях не существенно ниже, чем при голеностопной: в тесте «Мишень» – 3,12 против 4,87; в пробе с ОГ – 3,05 против 3,56; с ЗГ – 3,34 против 3,54, что позволяет говорить о более оперативной коррекции позы. Установленная взаимосвязь между

повышением амплитуды ЭМГ и сокращением длительности корректирующих движений может говорить о возможной компенсаторной роли m. gastrocnemius medialis в обеспечении постуральной устойчивости, что особенно значимо в тестовых условиях, предъявляющих повышенные требования к координации и сенсорному контролю (рис. 4).

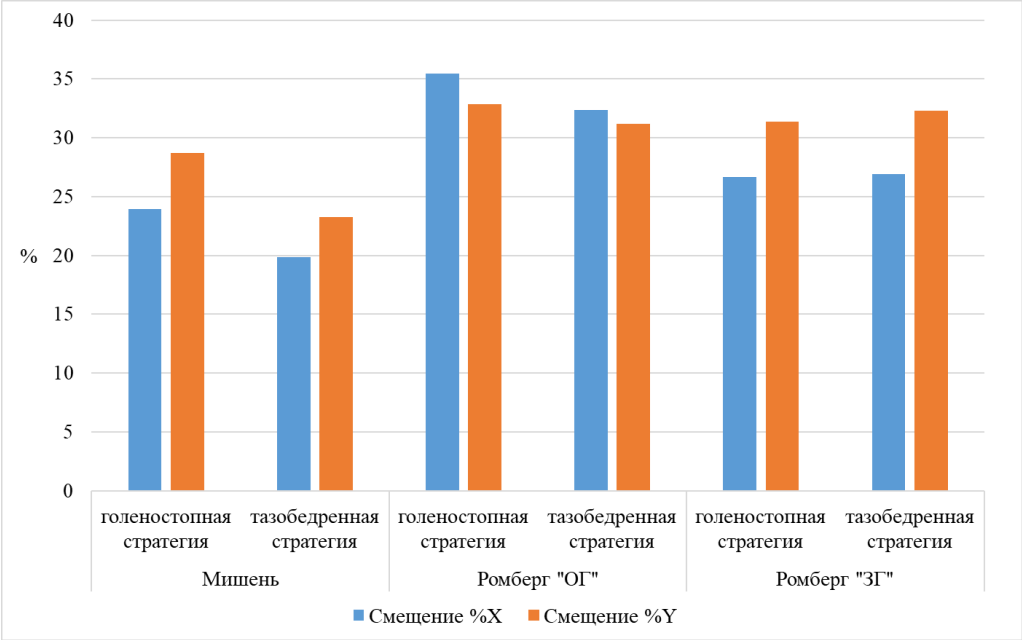



Рис. 3. Гистограмма распределения относительных показателей смещения ЦД во фронтальной (X%) и сагиттальной (Y%) плоскостях у фигуристок-одиночниц высокой квалификации в зависимости от стратегии поддержания равновесия

Примечание: ЦД – центр давления; ОГ – зрительный контроль (глаза открыты); ЗГ – глаза закрыты.

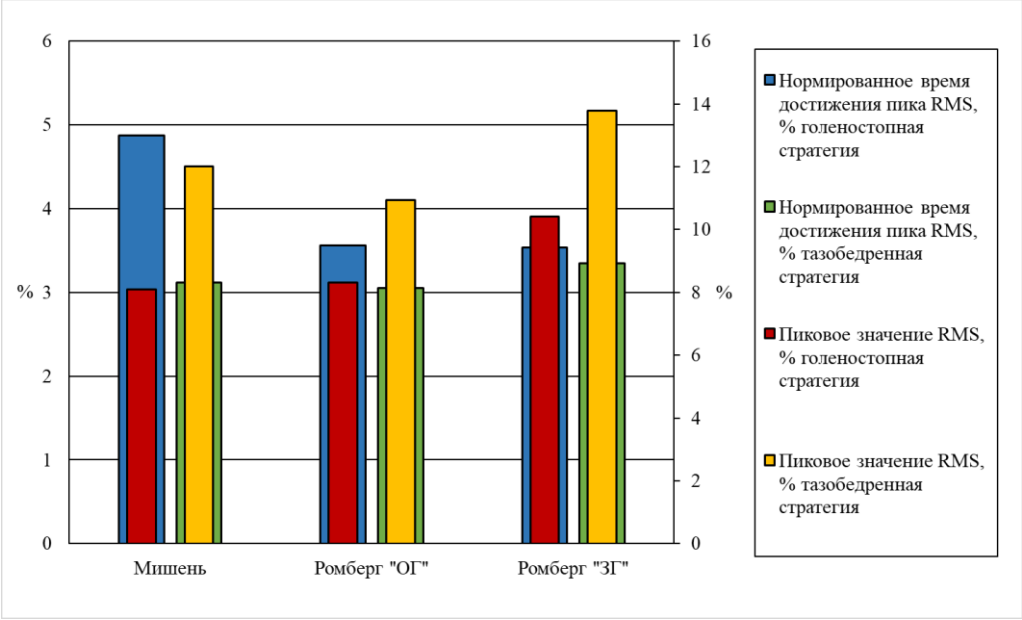



Рис. 4. Гистограмма зависимости амплитуды ЭМГ m. gastrocnemius medialis (пиковое значение RMS%) и средней длительности одного колебания (нормированное время достижения пика RMS%) у фигуристок-одиночниц высокой квалификации в стабилометрических тестах

Примечание: ЭМГ – электромиограмма; RMS – среднеквадратическое значение амплитуды.

Таблица 4

Сравнительный анализ психофизиологических показателей у фигуристок с голеностопной и тазобедренной стратегиями, M±σ

| Психофизиологические параметры | Голеностопная стратегия (n=11) | Тазобедренная стратегия (n=13) | P< |
|---|---|---|---|
| РДО (кол-во опережающих реакций) | 2,5±0,8 | 0,7±0,5 | 0,006 |
| Отмеривание отрезков (ошибка в %) | 9,9±3,6 | 23,8±11,8 | 0,02 |
| URA, этап 3, интервал 2, кол-во ошибок | 5,5±1 | 3,5±1 | 0,02 |

Примечание: РДО – реакция на движущийся объект; URA – трехэтапный тест умственной работоспособности; P – t-критерий Стьюдента.

В таблице 4 представлены результаты психофизиологических параметров у фигуристок-одиночниц высокой квалификации в зависимости от применяемой стратегии постурального контроля.

Выявленные межгрупповые различия отражают неоднородность психофизиологических механизмов регуляции движений у фигуристок, применяющих разные стратегии поддержания равновесия. Установлены статистически значимые межгрупповые различия по всем трем показателям ($p<0,05$). Самым действенным в плане значимости межгрупповых отличий отмечен тест «Реакция на движущийся объект». Количество опережающих ошибок отмечено меньше в группе 2 (тазобедренная стратегия). В более сложном психофизиологическом тесте «Отмеривание отрезков», напротив, более оперативная реакция отмечена у спортсменок с голеностопной стратегией. В тесте «URA» на третьем, самом сложном, этапе теста, количество ошибок вновь меньше в группе тазобедренной стратегии (результаты 2-ой попытки).

Таким образом, в ходе проведенного исследования установлено, что применение тазобедренной стратегии поддержания равновесия сопровождается снижением величины отклонений центра давления во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Такие отличия наиболее выражены в тесте «Мишень» и менее в пробе Ромберга с ОГ. Одновременно с этим фиксируются рост амплитуды ЭМГ m. gastrocnemius medialis и сокращение длительности корректирующих движений, что свидетельствует о более оперативной постуральной коррекции. Выявленная зависимость подтверждает компенсаторную роль данной мышцы в обеспечении устойчивости, особенно в условиях повышенных координационных и сенсорных требований. Психофизиологические различия между группами сравнения указывают на неоднородность реакций сенсорного звена постуральной системы у фигуристок, использующих разные стратегии постурального контроля, что требует дальнейшего изучения.

**Заключение.** В результате проведенного исследования выявлены различия биоэлектрических характеристик активности m. gastrocnemius medialis у фигуристок высокой квалификации при выполнении стабилометрических тестов с реализацией спортсменками различных стратегий для поддержания равновесия. Установлено, что применение тазобедренной стратегии поддержания равновесия сопровождается достоверно более высокими значениями амплитудных (RMS, RMS/t, RMS%) и структурных (количество всплесков RMS) показателей ЭМГ m. gastrocnemius medialis по сравнению с голеностопной стратегией. Наибольшее количество статистически значимых различий зафиксировано нами в стабилометрическом тесте «Мишень», который является самым информативным, а также в пробе Ромберга с ОГ, что указывает на возрастание роли m. gastrocnemius medialis в условиях повышенных требований для поддержания спортсменками равновесия при выполнении стабилометрических тестов. Показано, что переход к тазобедренной стратегии ассоциирован с перераспределением частотного состава стабилограммы (отмечен рост высокочастотных компонентов Pw3(F), Pw3(S) и снижение низкочастотной мощности Pw2(F)), что согласуется с литературными данными о спектральных маркерах постуральных стратегий [17, 18]. Сопоставление временных рядов ЭМГ и стабилограммы подтвердило, что всплески амплитуды RMS

медиальной икроножной мышцы синхронизированы с колебаниями центра давления, причем при тазобедренной стратегии длительность одного корректирующего движения меньше, что может свидетельствовать о более быстрой, но энергозатратной стратегии при необходимости регулировать вертикальную позу. Необходимо отметить, что фигуристки, реализующие тазобедренную стратегию, в 100% случаев отмечают в анамнезе травмы опорно-двигательного аппарата. Полученные результаты расширяют представления о нейрофизиологических механизмах постурального контроля в фигурном катании и могут быть использованы для объективного мониторинга функционального состояния спортсменок для оптимизации тренировочного процесса, направленного на совершенствование статокинетической устойчивости, и для определения функционально-диагностических критериев, позволяющих своевременно проводить профилактику травм голеностопного сустава. Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение динамики ЭМГ-характеристик медиальной икроножной мышцы в процессе многолетней подготовки и при воздействии различных тренировочных нагрузок.

Выводы:

1) Более высокий уровень реализации вертикальной устойчивости демонстрируют фигуристки-одиночницы с голеностопной стратегией;

2) Голеностопная стратегия поддержания постуральной устойчивости имеет более низкую стоимость миоработы, что позволяет более плавно корректировать движения при обеспечении постурального контроля;

3) Наибольшую вертикальную устойчивость фигуристок демонстрирует голеностопная стратегия в виду наименьшего количества колебаний ЭМГ;

4) Особенностью биоэлектрических характеристик m. gastrocnemius medialis у фигуристок с разными стратегиями постурального контроля является: большее среднее время максимального пика ЭМГ и меньшее значение амплитуды у спортсменок, реализующих голеностопную стратегию, в то время как у спортсменок, реализующих тазобедренную стратегию, отмечено меньшее среднее время максимального пика ЭМГ, но большее значение амплитуды ($p<0,05$).

5) Фигуристки с тазобедренной стратегией в 100% случаев имеют в анамнезе травмы опорно-двигательного аппарата.

6) В дальнейшем целесообразно исследовать зависимость «ЭМГ – координационные проявления» во время выполнения фигуристками специально прыжковых элементов.

**Конфликт интересов**. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ивлев, В.И. Особенности афферентного обеспечения функции равновесия у фигуристов в подготовительном периоде / В.И. Ивлев, А.В. Шевцов // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_8.

2. Седоченко, С.В. Динамика стабилометрических параметров устойчивостии технического мастерства квалифицированных фигуристок / С.В. Седоченко, О.Н. Савинкова, А.В. Черных // Человек. Спорт. Медицина. – 2025. – Т. 25. – № S1. – С. 92-96. DOI 10.14529/hsm25s111.

3. Vieira, T.M.M. Is the stabilization of quiet upright stance in humans driven by synchronized modulations of the activity of medial and lateral gastrocnemius muscles? / T.M.M. Vieira, U. Windhorst, R. Merletti // Journal of Applied Physiology. – 2010. – Vol. 108. – No. 1. – P. 85-97. DOI: 10.1152/japplphysiol.00676.2009.

4. Voluntary control of forward leaning posture relates to low-frequency neural inputs to the medial gastrocnemius muscle / T. Watanabe, I. Nojima, H. Sugiura [et al.] // Gait & Posture. – 2019. – Vol. 68. – P. 187-192. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.11.026.

5. Zaback, M. Independent directional tuning of the human triceps surae muscles during standing postural control / M. Zaback, C.K. Thompson // Journal of Applied Physiology. – 2025. DOI: 10.1152/japplphysiol.00626.2025.

6. Absence of lateral gastrocnemius activity and differential motor unit behavior in soleus and medial gastrocnemius during standing balance / M.E. Héroux, C.J. Dakin, B.L. Luu [et al.] // Journal

of Applied Physiology. – 2014. – Vol. 116. – No. 2. – P. 140-148. DOI: 10.1152/japplphysiol. 00906.2013.
7. Asymmetrical loading of the human triceps surae: I. Mediolateral force differences in the Achilles tendon / A. Arndt, G.P. Brüggemann, J. Koebke, B. Segesser // Foot & Ankle International. – 1999. – Vol. 20. – No. 7. – P. 444-449. DOI: 10.1177/107110079902000709.
8. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures / H.J. Hermens, B. Freriks, C. Disselhorst-Klug, G. Rau // Journal of Electromyography and Kinesiology. – 2000. – Vol. 10. – No. 5. – P. 361-374. DOI: 10.1016/s1050-6411(00)00027-4.
9. SENIAM: Gastrocnemius Medialis. – URL: http://seniam.org/gastrocnemiusmedialis.html (дата обращения: 12.05.2026).
10. Современные аспекты стабилометрии и стабилотренинга в коррекции постуральных расстройств / И.М. Рудь, Е.А. Мельникова, М.А. Рассулова, А.Е. Гореликов // Доктор.Ру. – 2017. – № 11(140). – С. 51-56.
11. Скворцов, Д.В. Стабилометрическое исследование : краткое руководство / Д.В. Скворцов. – Москва : Мера-ТСП, 2010. – 172 с.
12. Городничев, Р.М. Спортивная электронейромиография / Р.М. Городничев. – Великие Луки : ВЛГИФК, 2005. – 227 с.
13. Robbins, D. An Introduction to EMG Signal Processing Using MatLab and Microsoft Excel / D. Robbins // Applications, Challenges, and Advancements in Electromyography Signal Processing / ed. G.R. Naik. – Hershey, PA : IGI Global, 2014. DOI: 10.4018/978-1-4666-6090-8.ch004.
14. Abbink, J.H. Detection of onset and termination of muscle activity in surface electromyograms / J.H. Abbink, A. van der Bilt, H.W. van der Glas // Journal of Oral Rehabilitation. – 1998. – Vol. 25. – No. 5. – P. 365-369. DOI: 10.1046/j.1365-2842.1998.00242.x.
15. Кубряк, О.В. Стабилометрия за 2 минуты : интерактивное методическое пособие / О.В. Кубряк, А.И. Мезенчук. – Москва : Мера-ТСП, 2022. – 44 с.
16. Vieira, T.M.M. Intermittent recruitment of motor units in the medial gastrocnemius muscle during quiet standing / T.M.M. Vieira, R. Merletti, D. Farina // Gait & Posture. – 2009. – Vol. 30. – Suppl. 1. – P. S17-S18. DOI: 10.1016/j.gaitpost. 2009.07.098.
17. Experimental Analysis of Postural Mechanism Using a New Movable Platform / T. Yamamoto, H. Asano, R. Muratubaki, O. Hounokidani // Biomechanisms. – 1992. – Vol. 11. – P. 261-271. DOI: 10.3951/biomechanisms.11.261.
18. Zhang, H. Frequencies in Center of Pressure Time Series above 1Hz during Quiet Upright Stance Reflect the Use of a Hip Strategy / H. Zhang, M.A. Nussbaum // Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. – 2008. – Vol. 52. – No. 19. – P. 1511-1515. DOI: 10.1177/154193120805201519.

**REFERENCES**

1. Ivlev V.I., Shevtsov A.V. Afferent mechanisms underlying balance function in figure skaters during the preparation period. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_8. (in Russ.)
2. Sedochenko S.V., Savinkova O.N., Chernykh A.V. Dynamics of stabilometric parameters and technical performance in skilled figure skaters. *Human. Sport. Medicine*, 2025, vol. 25(S1), pp. 92-96. DOI: 10.14529/hsm25s111. (in Russ.)
3. Vieira T.M.M., Windhorst U., Merletti R. Is the stabilization of quiet upright stance in humans driven by synchronized modulations of the activity of medial and lateral gastrocnemius muscles? *Journal of Applied Physiology*, 2010, vol. 108, no. 1, pp. 85-97. DOI: 10.1152/japplphysiol. 00676.2009.
4. Watanabe T., Nojima I., Sugiura H. et al. Voluntary control of forward leaning posture relates to low-frequency neural inputs to the medial gastrocnemius muscle. *Gait & Posture*, 2019, vol. 68, pp. 187-192. DOI: 10.1016/j.gaitpost. 2018.11.026.
5. Zaback M., Thompson C.K. Independent directional tuning of the human triceps surae muscles during standing postural control. *Journal of Applied Physiology*, 2025. DOI: 10.1152/japplphysiol.00626.2025.
6. Héroux M.E., Dakin C.J., Luu B.L. et al. Absence of lateral gastrocnemius activity and differential motor unit behavior in soleus and medial gastrocnemius during standing balance. *Journal of Applied Physiology*, 2014, vol. 116, no. 2, pp. 140-148. DOI: 10.1152/japplphysiol. 00906.2013.
7. Arndt A., Brüggemann G.P., Koebke J. et al. Asymmetrical loading of the human triceps surae: I. Mediolateral force differences in the Achilles tendon. *Foot & Ankle International*, 1999, vol. 20, no. 7, pp. 444-449. DOI: 10.1177/107110079902000709.
8. Hermens H.J., Freriks B., Disselhorst-Klug C. et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2000, vol. 10, no. 5, pp. 361-374. DOI: 10.1016/s1050-6411(00)00027-4.
9. SENIAM: Gastrocnemius Medialis. Available at: http://seniam.org/gastrocnemiusmedialis.html (accessed: 12.05.2026).

10. Rud I.M., Melnikova E.A., Rassulova M.A., Gorelikov A.E. Current aspects of stabilometry and stability training in the treatment of postural disorders. *Doctor.Ru*, 2017, no. 11(140), pp. 51-56. (in Russ.)
11. Skvortsov D.V. Stabilometric Study: a brief guide. Moscow: Maska, 2010.172 p. (in Russ.)
12. Gorodnichev R.M. Sports Electroneuromyography. Velikiye Luki, 2005. 227 p. (in Russ.)
13. Robbins D. An Introduction to EMG Signal Processing Using MatLab and Microsoft Excel. In: Applications, Challenges, and Advancements in Electromyography Signal Processing. Naik G.R., ed. Hershey, PA: IGI Global, 2014. DOI: 10.4018/978-1-4666-6090-8.ch004.
14. Abbink J.H., van der Bilt A., van der Glas H.W. Detection of onset and termination of muscle activity in surface electromyograms. *Journal of Oral Rehabilitation*, 1998, vol. 25(5), pp. 365-369. DOI: 10.1046/j.1365-2842.1998.00242.x.
15. Kubryak O.V., Mezenchuk A.I. Stabilometry in 2 minutes: interactive methodological guide. Moscow: Mera-TSP, 2022. 44 p. (in Russ.)
16. Vieira T.M.M., Merletti R., Farina D. Intermittent recruitment of motor units in the medial gastrocnemius muscle during quiet standing. *Gait & Posture*, 2009, vol. 30, suppl. 1, pp. S17-S18. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2009.07.098.
17. Yamamoto T., Asano H., Muratubaki R., Hounokidani O. Experimental Analysis of Postural Mechanism Using a New Movable Platform. *Biomechanisms*, 1992, vol. 11, pp. 261-271. DOI: 10.3951/biomechanisms.11.261.
18. Zhang H., Nussbaum M.A. Frequencies in Center of Pressure Time Series above 1Hz during Quiet Upright Stance Reflect the Use of a Hip Strategy. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 2008, vol. 52, no. 19, pp. 1511-1515. DOI: 10.1177/154193120805201519.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**
**Наталья Николаевна Захарьева** – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры физиологии, главный научный сотрудник лаборатории научно-методического обеспечения подготовки спортсменов сборных команд НИИ спорта и спортивной медицины, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: zakharyeva.natalia@mail.ru.
**Дмитрий Алексеевич Рыбкин** – аспирант кафедры физиологии, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: proofreadrose7@gmail.ru.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**
**Natalya N. Zakharyeva** – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Physiology, Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Scientific and Methodological Support of National Team Athlete Training, Research Institute of Sports and Sports Medicine, Russian University of Sport "GTSOLIFK", Moscow, e-mail: zakharyeva.natalia@mail.ru.
**Dmitry A. Rybkin** – Postgraduate Student of the Department of Physiology, Russian University of Sport "GTSOLIFK", Moscow, e-mail: proofreadrose7@gmail.ru.

**Для цитирования:** Захарьева, Н.Н. Биоэлектрические характеристики m. gastrocnemius medialis в обеспечении постурального контроля у фигуристок высокой квалификации при выполнении стабилометрических тестов / Н.Н. Захарьева, Д.А. Рыбкин // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_7

**For citation:** Zakharyeva N.N., Rybkin D.A. Bioelectric characteristics of m. gastrocnemius medialis in providing postural control of highly qualified figure skaters performing stabilometric tests. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_7