Дата публикации: 01.03.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_8
УДК 612.886:796.912

Publication date: 01.03.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_8
UDC 612.886:796.912

ОСОБЕННОСТИ АФФЕРЕНТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИИ РАВНОВЕСИЯ У ФИГУРИСТОВ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНОМ ПЕРИОДЕ

В.И. Ивлев[1], А.В. Шевцов[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 «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Эффективность системы управления движениями в фигурном катании определяется интеграцией сенсорной информации от различных афферентных систем. Их дисбаланс в подготовительном периоде может существенно лимитировать спортивный результат, что обуславливает актуальность данного исследования. ***Методы.*** Методом компьютерной стабилографии оценивались показатели функции равновесия в условиях наличия и отсутствия зрительной информации. ***Результаты.*** В подготовительном периоде ведущую роль в афферентном обеспечении равновесия играет зрительный анализатор. При его выключении выявлена недостаточность проприоцептивного контроля, проявляющаяся в росте амплитуды и скорости колебаний центра давления и манифестации функциональной асимметрии. ***Заключение.*** Диссоциация между зрительным и проприоцептивным контурами регуляции равновесия у фигуристов обосновывает необходимость применения методов модуляции нейромышечного тонуса.
Ключевые слова: фигурное катание, функция равновесия, афферентное обеспечение, проприоцепция, сенсорная депривация, функциональная асимметрия, физиологическая адаптация.

AFFERENT MECHANISMS UNDERLYING BALANCE FUNCTION IN FIGURE SKATERS DURING THE PREPARATION PERIOD

V.I. Ivlev[1], A.V. Shevtsov[2]
[1]South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia
[2]Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The effectiveness of the motor control system in figure skating is determined by the integration of sensory information from various afferent systems. Their imbalance during the preparation period may significantly limit athletic performance, which substantiates the relevance of this study. ***Methods.*** Using computer stabilography, parameters of balance function were assessed under conditions of visual availability and visual deprivation. ***Results.*** During the preparation period, the visual analyzer plays a predominant role in afferent provision of equilibrium. Upon exclusion of visual input, insufficiency of proprioceptive control was revealed, manifesting as increased amplitude and velocity of center of pressure displacement, as well as manifestation of pronounced functional asymmetry. ***Conclusion.*** The dissociation between visual and proprioceptive regulatory circuits of balance in figure skaters substantiates the necessity of implementing neuromuscular tone modulation techniques.
Keywords: figure skating, postural balance, afferent pathways, proprioception, sensory deprivation, functional laterality, physiological adaptation.

Введение. Способность к сохранению устойчивого положения тела (функция равновесия) является фундаментальным компонентом спортивного мастерства в фигурном катании [1]. С физиологической точки зрения эта способность обеспечивается сложным взаимодействием афферентных систем: зрительной, вестибулярной и проприоцептивной (соматосенсорной). Качество поступающей сенсорной информации и эффективность ее центральной интеграции определяют точность и экономичность

управляющих команд, посылаемых к мышцам-стабилизаторам.

В подготовительном периоде годичного цикла на фоне высоких физических нагрузок и восстановления технических навыков происходит активная перестройка функциональных систем организма [2]. Известно, что утомление и локальное мышечное перенапряжение могут искажать проприоцептивную информацию, поступающую от мышечных веретен и сухожильных органов Гольджи. В этих условиях центральная нервная система может вынужденно переходить на преимущественное использование зрительного контроля как более надежного источника информации, что, однако, снижает автономность и помехоустойчивость системы управления движениями [3].

Понимание специфики афферентного обеспечения функции равновесия у фигуристов именно на этапе «втягивания» в нагрузку необходимо для грамотного построения тренировочного процесса. Выявление слабости проприоцептивного звена или скрытой асимметрии паттернов движения может служить сигналом для внедрения методик, направленных на нормализацию нейромышечного тонуса и восстановление адекватной соматосенсорной чувствительности.

Цель исследования – выявить особенности афферентного обеспечения функции равновесия у квалифицированных фигуристов в подготовительном периоде на основе анализа показателей стабилографического тестирования в условиях зрительного контроля и депривации.

Методы и организация исследования. Исследование имело дизайн одномоментного поперечного исследования (cross-sectional study). В исследование были включены 46 квалифицированных фигуристов – воспитанники спортивной школы олимпийского резерва «Звездный лед» (г. Санкт Петербург), специализирующиеся в одиночном фигурном катании. В качестве критериев включения были отобраны: квалификация не ниже I взрослого разряда; возраст на момент обследования 16-20 лет; стаж спортивной подготовки не менее 5 лет; участие в регулярных тренировочных занятиях в объеме не менее 20 часов в неделю на момент обследования; отсутствие острых заболеваний в течение последних двух недель, предшествующих обследованию. В качестве критериев исключения: наличие заболеваний органов зрения; прием лекарственных средств и биологически активных добавок, влияющих на функцию вестибулярного аппарата или нервно-мышечную передачу; отказ спортсмена или его представителя от информированного согласия на участие в исследовании.

Обследования фигуристов проводились на базе научной лаборатории Академии физической и реабилитационной медицины (г. Санкт-Петербург) в середине подготовительного периода годичного цикла подготовки (июль 2025 г.). Оценка функции равновесия проводилась методом компьютерной стабилографии на аппаратно-программном комплексе «Стабилан-01-2» (ЗАО «ОКБ «РИТМ», г. Таганрог, Россия). Комплекс прошел метрологическую поверку и сертификацию в соответствии с ГОСТ Р 50444-2020 и рекомендациями Международной организации по стандартизации (ISO 13485:2016) в декабре 2024 г.

Исследование проводилось в положении свободного стояния, в основной стойке (стопы параллельно, расстояние между ними 5-7 см, руки вдоль туловища). Спортсмен находился на стабилографической платформе в освещенном помещении при температуре воздуха 18-24 °C и относительной влажности 40-60%. Исследование предварялось ознакомительным периодом (2-3 попытки) для адаптации к условиям тестирования.

Протокол тестирования включал две пробы:

1. Проба с открытыми глазами (ГО): спортсмен поддерживал равновесие при нормальном зрительном контроле. Направленность взгляда фиксировалась на точку, расположенную на уровне глаз на расстоянии 1 м. Продолжительность пробы составляла 60 с.

2. Проба с закрытыми глазами (ГЗ): спортсмен выполнял аналогичное задание, закрыв глаза.

Последовательность проб была стандартизирована: сначала выполнялась проба ГО,

затем проба ГЗ. Интервал между пробами – 30 с, что позволило избежать кумулятивного эффекта утомления.

Статистическая обработка данных проводилась в программном пакете Statistica 13.0 (StatSoft Inc., США). Характер распределения количественных признаков оценивался с помощью критерия Шапиро-Уилка. Для описания количественных данных с нормальным распределением использовались среднее арифметическое (M) и стандартное отклонение (σ), данные представлялись в формате M±σ. В случаях, когда распределение отличалось от нормального, применялись медиана (Me) и квартили, данные представлялись в формате Me [Q1; Q3]. При сравнении двух групп количественных данных (пробы с открытыми/закрытыми глазами) с нормальным распределением использовался парный t-критерий Стьюдента, с отличным от нормального – W-критерий Вилкоксона. Различия считались статистически значимыми при уровне ошибки $p<0,05$.

Исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией, принципами надлежащей клинической практики и действующим законодательством Российской Федерации. Все спортсмены и их родители/опекуны (для лиц до 18 лет) дали информированное письменное согласие на участие в исследовании.

Результаты исследования и их обсуждение. Полученные данные стабилографического тестирования фигуристов в подготовительном периоде в целом характеризуют состояние афферентного обеспечения системы управления движениями как незавершенную адаптацию к специфическим нагрузкам в фигурном катании (табл.).

Таблица

Показатели функции равновесия квалифицированных фигуристов в пробах с открытыми и закрытыми глазами, M±σ, Me [Q1; Q3]

Показатель		Проба ГО	Проба ГЗ	P<
Площадь эллипса, мм²		86,79 [75,56; 97,69]	164,38 [143,07; 185,07]	0,001
Качество функции равновесия, %		82,69±2,40	71,77±2,85	0,001
Скорость перемещения центра давления, мм/с		9,49 [8,30; 10,63]	12,88 [11,25; 14,45]	0,001
Мощность векторограммы, мм²/с		2,46±0,28	4,31±0,42	0,001
Нормированная площадь векторограммы, мм²/с		0,301±0,07	0,394±0,08	0,001
Коэфф. резкого изменения направления движения, %		16,74±1,68	18,30±1,23	0,001
Средняя линейная скорость, мм/с		9,77±0,74	12,73±0,68	0,001
Средняя угловая скорость, град/с		27,71±2,02	25,94±1,08	0,001
Амплитуда вариации линейной скорости, мм/с		5,05±0,31	7,12±0,50	0,001
Амплитуда вариации угловой скорости, град/с		26,24±1,12	24,86±0,46	0,001
Период вариации линейной скорости, с		0,523±0,02	0,528±0,06	–
Период вариации угловой скорости, с		0,471±0,01	0,490±0,01	–
Соотношение линейной и угловой скоростей, мм/град		0,37±0,03	0,47±0,03	0,001
Коэфф. асимметрии	угловой скорости, %	0,07 [-1,2; 1,4]	-9,54 [-11,13; -9,10]	0,001
	фронт. составляющей, %	0,08 [-0,5; 0,6]	2,34 [1,79; 2,55]	0,001
	сагитт. составляющей, %	0,01 [-0,42; 0,56]	0,81 [0,73; 1,02]	0,01
	накопл. угла смещения, об/мин	-0,99 [-4,2; 2,1]	-21,28 [-23,8; -19,0]	0,001

Примечание: ГО – с открытыми глазами; ГЗ – с закрытыми глазами.

Как показано в таблице, для пробы с открытыми глазами большинство показателей функции равновесия имело нормальное распределение и умеренную

вариабельность, что свидетельствовало о достаточно упорядоченной работе механизмов поддержания вертикальной позы. Это соответствует многочисленным данным о том, что у спортсменов сложнокоординационных видов спорта система управления движениями уже на базовом уровне функционирует более экономично и организованно по сравнению с нетренированными лицами [4]. Однако даже при наличии зрительного контроля выявлялись латентные признаки функциональной асимметрии (по показателям угловой скорости, фронтальной и сагиттальной составляющих), выражающиеся в доминировании односторонних вращательных компонентов. Это подтверждает современные представления о том, что в начале подготовительного периода функциональный статус спортсменов существенно отличается от их оптимального соревновательного профиля.

Анализ проб с закрытыми глазами во всех основных показателях позволил выявить снижение позной устойчивости и рост амплитудно-пространственных колебаний центра давления (ЦД) при зрительной депривации, который характерен для этапа срочной адаптации, причем для части показателей распределение становилось ненормальным (площадь эллипса, скорость перемещения ЦД, функциональные асимметрии). Это говорит не только об ожидаемом усилении роли проприоцептивной и вестибулярной афферентации при депривации зрения, но и о гетерогенности стратегий стабилизации тела у разных спортсменов. Подобная картина хорошо согласуется с данными F. Asseman и соавт. (2005), показавшими, что у элитных гимнастов выключение зрения приводит к увеличению площади и скорости колебаний ЦД, причем выраженность эффекта зависит не только от сложности позы, но и от ее специфики для данного вида спорта [5].

В более раннем исследовании на выборке фигуристов, где оценивали влияние нейромышечного тренинга на постуральный контроль, показано, что именно тесты с закрытыми глазами наиболее чувствительны к изменениям функционального состояния: после цикла нейромышечных тренировок у фигуристов статистически значимо снижалась длина траектории ЦД при закрытых глазах, тогда как цикл общеподготовительных тренировок такой динамики не давал [6]. На этом фоне полученные данные можно рассматривать как условно «исходный» уровень формирования адаптационной базы, когда:

- зрительная афферентация еще играет ведущую роль в регуляции моторных программ;
- проприоцептивные и вестибулярные механизмы полностью не адаптированы к специфике вращательно-динамических действий;
- при депривации зрения возникает разнонаправленная динамика кинематических параметров: наблюдается выраженный рост линейной скорости, мощности векторограммы и амплитуды вариации линейной скорости при снижении средней угловой скорости и амплитуды ее вариации. В совокупности со снижением качества функции равновесия это указывает на переход к более размашистым, но менее скоростным вращательным колебаниям ЦД, что характерно для снижения экономичности регуляторных процессов в управлении позой.

Отсутствие статистически значимых изменений периода колебаний (как линейной, так и угловой скорости) в пробе с закрытыми глазами свидетельствует о жесткости временной структуры регуляции позы. Несмотря на существенный рост амплитуды раскачивания фигуристы сохраняют привычный ритм постуральных коррекций, что интерпретируется как сохранение общей организованности процесса управления движениями даже в условиях сенсорного конфликта. Это согласуется с данными T. Paillard (2014), который в обзоре по спортивно-специфическим адаптациям постурального контроля показывает, что у подготовленных спортсменов при усложнении задачи (в т.ч. выключение зрения) активируются специфические, заранее «подготовленные» моторные стратегии, тогда как у менее тренированных наблюдается выраженный распад схемы регуляции позы [7].

Можно предположить, что в подготовительном периоде фигуристы находятся в состоянии, когда общая структура

регуляции функции равновесия уже сформирована, но специфическая координационная настройка механизмов под специфическую двигательную нагрузку еще не восстановлена. Аналогичная логика прослеживается в работе С.М. Абуталимовой с соавт. (2024), где показано, что у гимнасток разных возрастов спектральные характеристики стабилограммы изменяются в зависимости от периода подготовки: в подготовительный период возрастает доля низкочастотных и хаотичных компонент, что отражает поиск устойчивой стратегии регуляции позы [8].

Важным моментом, на наш взгляд, является то, что временные показатели стабилизации ЦД в обеих пробах демонстрируют узкое нормальное распределение с минимальной вариабельностью и только незначимым смещением при депривации зрения. Это указывает на то, что нейродинамическая структура постуральных коррекций (частота микрокоррекций, «ритм» работы ЦД) у фигуристов уже достаточно автоматизирована и мало зависит от текущего периода подготовки. В этой части полученные данные согласуются с результатами исследования по развитию координации у фигуристов группы начальной подготовки, где авторы отмечают, что систематическая тренировка даже на ранних этапах довольно быстро стабилизирует пространственно-временную структуру движений, тогда как амплитуда и качество выполнения элементов совершенствуются гораздо медленнее [9]. Следовательно, в подготовительном периоде мы видим сохранность «ядра» постурального ритма при трансформации амплитудно-пространственных характеристик равновесия.

Особого внимания заслуживают показатели асимметрии угловой скорости, фронтальной и сагиттальной составляющих, а также асимметрия накопленного угла смещения (рис.).

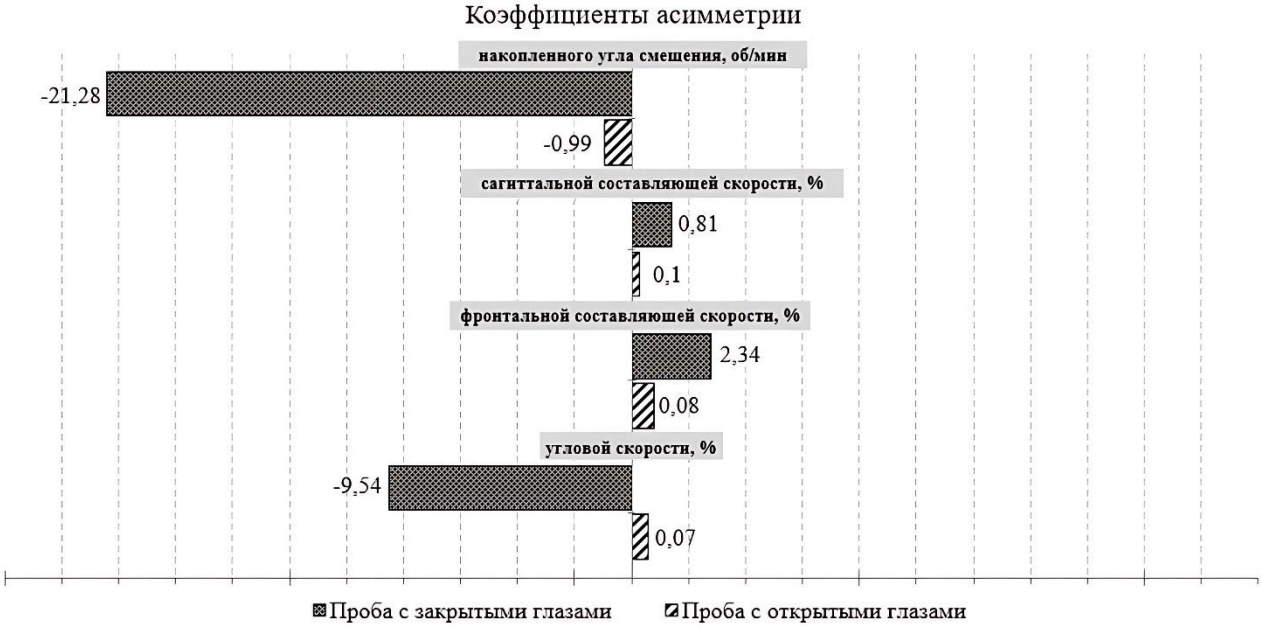


Рис. Показатели асимметрии афферентного обеспечения функции равновесия у квалифицированных фигуристов в подготовительном периоде (n=46)

В пробе с открытыми глазами они невелики и в ряде случаев нормально распределены, что свидетельствует о достаточной симметричности постуральной активности в условиях упрощенной задачи. Однако в пробе с закрытыми глазами асимметрия угловой скорости и накопленного угла смещения формирует выраженное смещенное, ненормальное распределение с устойчивой негативной медианой. Аналогичные тенденции описаны в работах научного коллектива из Поволжской государственной академии физической культуры, спорта и туризма, где авторами анализировались стабилографические показатели у фигуристов на фоне совершенствования техники вращений: после целенаправленного тренинга уменьшались

асимметрии и нормализовывались параметры траектории ЦД, тогда как на исходном этапе (до вмешательства) отмечались выраженные доминирующие направления вращения и высокие значения интегральных асимметричных показателей [10]. С учетом этого можно предположить, что функционально фигуристы в подготовительном периоде занимают промежуточное положение между состоянием срочной и долговременной адаптации (напряжение регуляторных механизмов). При этом, их функция равновесия уже специфична (что подтверждается характером асимметрий и выраженной латерализацией вращательных параметров), но степень сенсорной автономности (способности поддерживать позу без постоянной концентрации зрения) еще недостаточна.

Заключение. Проведенное исследование характеризует особенности адаптационного профиля системы управления движениями квалифицированных фигуристов в подготовительном периоде и выявляет ключевую особенность: выраженная диссоциация между зрительным и проприоцептивным контурами регуляции функции равновесия. Спортсмены демонстрируют сформированный базовый моторный контроль с устойчивым доминированием вращательного стереотипа, однако в условиях сенсорного конфликта (зрительная депривация) отмечается декомпенсированная асимметрия паттернов движения и избыточность нейромышечного тонуса. Это свидетельствует о незавершенности процесса функциональной интеграции афферентных систем и недостаточной степени сенсорной автономности.

Установленная недостаточность проприоцептивного контроля и выявленные признаки функциональной асимметрии паттернов движения при выключении зрительной информации указывают на необходимость целенаправленной модуляции нейромышечного тонуса. Это представляется обоснованной стратегией для нормализации соматосенсорной чувствительности, восстановления проприоцептивного контроля и формирования адекватной функциональной асимметрии паттернов движения, соответствующей специфике фигурного катания.

Конфликт интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мишин, А.Н. Биомеханика движений фигуриста / А.Н. Мишин. – Москва: ООО «ЛЕНАНД», 2021. – 224 с.
2. The Effect of Hurdling Performance on The Adaptive Profile of Cerebral Blood Flow in Vestibular Irritation / A.A. Semchenko, A.V. Savchenkov, A.V. Nenasheva, S.M. Tayebi // Annals of Applied Sport Science. – 2021. – Vol. 9. – No. 4. – P. e1047.
3. Шевцов, А.В. Функциональное состояние висцеральных систем организма спортсменов при немедикаментозном способе коррекции мышечно-тонической асимметрии паравертебральной зоны: автореферат дис. … степени д-ра биол. наук / Шевцов Анатолий Владимирович. – Челябинск, 2012. – 38 с.
4. Influence of gymnastics training on the development of postural control / C. Garcia, J.A. Barela, A.R. Viana, A.M. Barela // Neuroscience Letters. – 2011. – No. 492(1). – P. 29-32.
5. Asseman, F. Effects of the removal of vision on body sway during different postures in elite gymnasts / F. Asseman, O. Caron, J. Crémieux // International Journal of Sports Medicine. – 2005. – No. 26(2). – P. 116-119.
6. Effect of training on postural control in figure skaters: a randomized controlled trial of neuromuscular versus basic off-ice training programs / E.J. Kovacs, T.B. Birmingham, L. Forwell, R.B. Litchfield // Clinics in Sports Medicine. – 2004. – No. 14(4). – P. 215-224.
7. Paillard, T. Sport-Specific Balance Develops Specific Postural Skills / T. Paillard // Sports Medicine. – 2014. – No. 44. – P. 1019-1020.
8. Динамика показателей спектрального анализа при проведении стабилометрического исследования у гимнасток разного возраста / С.М. Абуталимова, Ю.В. Корягина, Ю.В. Кушнарева, В.В. Корнева // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2024. – Т. 3. – № 3(11). – URL: https://intsport.ru/images/journals/2024-3/Abutalimova2024R.pdf (дата обращения: 23.11.2025).
9. Губаева, Е.Е. Развитие координационных способностей у фигуристов группы начальной

подготовки / Е.Е. Губаева, Н.Н. Мугаллимова // Наука и спорт: современные тенденции. – 2015. – Т. 8. – № 3. – С. 132-137.
10. Иванова, К.С. Результаты апробации методики совершенствования техники вращений в одиночном фигурном катании на коньках на этапе спортивной специализации / К.С. Иванова, Т.В. Заячук, Ф.А. Мавлиев // Наука и спорт: современные тенденции. – 2018. – Т. 20. – № 3. – С. 60-66.

REFERENCES

1. Mishin A.N. Biomechanics of a figure skater's movements. 2nd ed., rev. and enl. Moscow: "LENAND LLC", 2021. 224 p. (in Russ.)
2. Semchenko A.A., Savchenkov A.V., Nenasheva A.V., Tayebi S.M. The effect of hurdling performance on the adaptive profile of cerebral blood flow in vestibular irritation. *Annals of Applied Sport Science*, 2021, vol. 9, no. 4, pp. e1047.
3. Shevtsov A.V. Functional state of visceral systems of athletes' body under a non-pharmacological correction method of muscle-tonic asymmetry of the paravertebral zone. An author's abstract. Chelyabinsk, 2012. 38 p. (in Russ.)
4. Garcia C., Barela J.A., Viana A.R., Barela A.M. Influence of gymnastics training on the development of postural control. *Neuroscience Letters*, 2011, no. 492(1), pp. 29-32.
5. Asseman F., Caron O., Crémieux J. Effects of the removal of vision on body sway during different postures in elite gymnasts. *International Journal of Sports Medicine*, 2005, no. 26(2), pp. 116-119.
6. Kovacs E.J., Birmingham T.B., Forwell L., Litchfield R.B. Effect of training on postural control in figure skaters: a randomized controlled trial of neuromuscular versus basic off-ice training programs. *Clinics in Sports Medicine*, 2004, no. 14(4), pp. 215-224.
7. Paillard T. Sport-specific balance develops specific postural skills. *Sports Medicine*, 2014, no. 44, pp. 1019-1020.
8. Abutalimova S.M., Koryagina Yu.V., Kushnareva Yu.V., Korneva V.V. Changes in spectral analysis indices in a stabilometric study of female gymnasts of different age. *Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training*, 2024, vol. 3, no. 3(11). Available at: https://intsport.ru/images/journals/2024-3/Abutalimova2024R.pdf (accessed 23.11.2025). (in Russ.)
9. Gubaeva E.E., Mugallimova N.N. Development of coordination abilities of skaters at a stage of initial training. *Science and Sport: Current Trends*, 2015, vol. 8, no. 3, pp. 132-137. (in Russ.)
10. Ivanova K.S., Zayachuk T.V., Mavliev F.A. Results of approbation of rotation refinement techniques in single skating at the stage of sport specialization. *Science and Sport: Current Trends*, 2018, vol. 20, no. 3, pp. 60-66. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Владимир Игоревич Ивлев – соискатель кафедры теории и методики физической культуры и спорта, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, e-mail: afrmspb@yandex.ru.
Анатолий Владимирович Шевцов – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой оздоровительной физической культуры и адаптивного спорта, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, e-mail: sportmedi@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Vladimir I. Ivlev – applicant of the Department of Theory and Methods of Physical Culture and Sport, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, e-mail: afrmspb@yandex.ru.
Anatolij V. Shevtsov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Health Physical Culture and Adaptive Sport, Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, e-mail: sportmedi@mail.ru.

Для цитирования: 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(36). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_8

For citation: 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(36). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_8