



Научная статья
УДК [612.811.4+612.812]:796.8
DOI: 10.37482/2687-1491-Z203

Проприоцептивный контроль мышц верхней конечности у спортсменов-самбистов

Андрей Александрович Мельников* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5281-5306>
Екатерина Сергеевна Иконникова** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6836-4386>
Роман Харисович Люкманов** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8671-5861>
Наталья Александровна Супонева** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3956-6362>

*Российский университет спорта «ГЦОЛИФК»
(Москва, Россия)

**Научный центр неврологии
(Москва, Россия)

Аннотация. Высокая проприоцептивная чувствительность является важным фактором эффективности технических элементов и результативности во многих видах спорта. Однако способность к проприоцептивному контролю положений сегментов верхней конечности и мышечных усилий у борцов практически не исследована. **Цель** работы – изучить точность воспроизведения положения кисти и мышечного усилия при дискретном сокращении и расслаблении мышц предплечья у спортсменов-самбистов. **Материалы и методы.** У молодых борцов-самбистов ($n = 10$) и неспортсменов (контроль, $n = 15$) оценивались точность воспроизведения углов пронации-супинации предплечья (20, 50, 80 °) с помощью кистевого джойстика с гониометром Pablo (Tyromotion, Австрия) и точность изометрического сокращения мышц при статической пронации-супинации с помощью неподвижного кистевого джойстика в восходящем и нисходящем направлении развития усилий (0, 20, 50 и 80 % от максимального усилия) по уровню электромиографической активности пронаторов и супинаторов предплечья (система функциональной электростимуляции «Траст-М», Neuroscore, Россия). **Результаты.** Установлено, что проприоцептивный контроль точности положения предплечья и статического усилия при сокращении пронаторов и супинаторов предплечья не различался между борцами и контрольными лицами. Однако абсолютная ошибка воспроизведения 50 и 80 % усилия во время дискретного расслабления пронаторов была меньше ($p < 0,01$) у спортсменов, чем у неспортсменов. Также в общей группе испытуемых точность воспроизведения усилий при дискретном сокращении пронаторов была выше, чем при дискретном расслаблении, что указывает на дефицит проприоцептивного контроля усилий во время расслабления мышц. Таким образом, тренировка мышц верхних конечностей при занятиях

© Мельников А. А., Иконникова Е. С., Люкманов Р. Х., Супонева Н. А., 2024

Ответственный за переписку: Андрей Александрович Мельников, *адрес:* 105122, Москва, Сиреневый бульвар, д. 4; *e-mail:* meln1974@yandex.ru

самбо улучшает проприоцептивный контроль дискретного мышечного расслабления. В дальнейшем необходимо выяснить роль установленного феномена в эффективности борцовских навыков и спортивном результате.

Ключевые слова: силовая проприоцепция, проприоцептивный контроль, дискретное расслабление, генерация силы, спортсмены-самбисты, мышцы верхних конечностей

Для цитирования: Проприоцептивный контроль мышц верхней конечности у спортсменов-самбистов / А. А. Мельников, Е. С. Иконникова, Р. Х. Люкманов, Н. А. Супонева // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 3. – С. 329-337. – DOI 10.37482/2687-1491-Z203.

Original article

Proprioceptive Control of Upper Limb Muscles in Sambo Athletes

Andrey A. Melnikov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5281-5306>
Ekaterina S. Ikonnikova** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6836-4386>
Roman Kh. Lyukmanov** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8671-5861>
Natalia A. Suponeva** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3956-6362>

*The Russian University of Sport “GTSOLIFK”
(Moscow, Russia)

**Research Center of Neurology
(Moscow, Russia)

Abstract. High proprioceptive sensitivity is an important factor in the efficiency of technical elements and athletic performance in many sports. However, proprioceptive control of the positions of upper limb segments and muscle effort in wrestlers has hardly been investigated. The **purpose** of this article was to study the reproduction accuracy of hand position and muscle effort during discrete contraction and relaxation of the forearm muscles in sambo athletes. **Materials and methods.** The research involved young sambo wrestlers ($n = 10$) and non-athletes (control, $n = 15$). We evaluated the reproduction accuracy of forearm pronation/supination angles (20, 50 and 80°) using a PABLO Handsensor (Tyromotion, Austria) and the accuracy of isometric muscle contraction during static pronation/supination, using a stationary hand joystick, in the ascending and descending directions of effort development (0, 20, 50 and 80 % of the maximum effort) according to the level of electromyographic activity of forearm pronators and supinators (Trust-M functional electrical stimulation system, Neurocore, Russia). **Results.** We found that proprioceptive control of forearm position accuracy and static effort during the contraction of forearm pronators and supinators did not differ between wrestlers and non-athletes. However, the absolute reproducibility error of 50 and 80 % of muscle effort during discrete relaxation of the pronators was lower ($p < 0.01$) in wrestlers than in non-athletes. Moreover, in the general sample, effort reproduction accuracy at pronators' discrete contraction was higher than at discrete relaxation, which indicates a deficit of proprioceptive control of muscle effort during relaxation. Thus, exercising upper limb muscles in sambo improves proprioceptive control of discrete muscle relaxation. Further studies should determine the role of the established phenomenon in the effectiveness of wrestling skills and sports results.

Corresponding author: Andrey Melnikov, *address:* Sirenevyy bul'var 4, Moscow, 105122, Russia; *e-mail:* meln1974@yandex.ru

Keywords: force proprioception, proprioceptive control, discrete relaxation, force generation, sambo athletes, muscles of the upper extremities

For citation: Melnikov A.A., Ikonnikova E.S., Lyukmanov R.Kh., Suponeva N.A. Proprioceptive Control of Upper Limb Muscles in Sambo Athletes. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 3, pp. 329–337. DOI: 10.37482/2687-1491-Z203

Особый вклад в спортивный результат при занятиях борьбой вносят умения и навыки, вырабатываемые в процессе тренировки верхних конечностей: захваты, тяги, упоры, толкающие и скручивающие усилия и т. д. Эффективность действий в спорте зависит не только от силовых и скоростных двигательных характеристик, но и во многом от проприоцептивного контроля движений или мышечной чувствительности. В частности, показана критическая зависимость точности целенаправленных движений рук от проприоцептивной информации об исходном и конечном положениях сегментов, а также о дистанции перемещения конечности [1].

Большое значение проприоцептивная информация имеет для межсегментарной координации в сложных многосуставных движениях, при этом односуставные высокоавтоматизированные, упроченные движения, как правило, выполняются точно даже в отсутствие проприоцептивных сигналов [2]. Так, V. Sevrez и C. Bourdin обнаружили, что успешность штрафных бросков в положении сидя в баскетбольную корзину со средней силой коррелирует со способностью игроков воспроизводить положение кисти в лучезапястном суставе без зрительного контроля. В этом же исследовании выявлена умеренная по силе взаимосвязь между точностью бросков и способностью воспроизводить суставной угол в локтевом суставе бросающей верхней конечностью [3]. Кроме того, установлено, что точность медленных метаний дротиков в дартсе обусловлена проприоцептивным контролем движений в лучезапястном и локтевом суставах примерно на 50 %,

а быстрых – примерно на 17 % [4]. Таким образом, проприоцептивный контроль играет важную роль в управлении движениями рук в спорте, а возможность его модуляции с помощью целенаправленных тренировок является объектом для углубленного исследования.

Существенная особенность управления движениями рук в единоборствах – наличие больших сопротивлений, которые увеличивают значимость способности к ощущению не только положений конечности или суставных углов, но и генерируемых усилий. Ощущение усилий и ощущение положений (и движений) конечностей – это разные модальности проприоцептивной чувствительности, информация о которых исходит из разных соматосенсорных рецепторов [5]. Если генерация целевого усилия хорошо изучена, то расслабление после развития силы – такой же активный и энергозатратный нейрофизиологический процесс – исследовано значительно хуже [6]. Показано, что при дискретном расслаблении величина двигательной ошибки выше, а точность воспроизведения заданного усилия ниже, чем во время генерации усилия [7]. Однако исследований точности воспроизведения мышечного усилия во время сокращения и расслабления мышц верхних конечностей у спортсменов ранее не проводилось.

Цель работы – изучить точность воспроизведения положения кисти и мышечного усилия при дискретном сокращении и расслаблении мышц предплечья на фоне пронации и супинации у спортсменов-самбистов.

Материалы и методы. В эксперименте приняли участие 10 молодых (возраст – 22 ± 4 года) праворуких спортсменов-самбистов

и 15 здоровых неспортсменов (25 ± 2 года), которые составили группы «Спорт» и «Контроль». Все исследования проведены в соответствии с положениями биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 года, ее последующих обновлениях, и одобрены локальным этическим комитетом Научного центра неврологии (протокол № 12 от 27.12.2020).

Оценка точности воспроизведения суставного угла при пронации и супинации предплечья проводилась при помощи джойстика из реабилитационного устройства Pablo (Tugomotion, Австрия). Исследуемые параметры определялись встроенным в джойстик гониометром при его отклонении от нейтрального положения во фронтальной плоскости. На первом этапе испытуемый с открытыми глазами супинировал кисть с удерживаемым джойстиком последовательно: на 20 , 50 и 80° , используя зрительную обратную связь (наблюдая за своей кистью и градуированной шкалой на экране монитора). На втором этапе проводилось трехкратное воспроизведение суставных углов с закрытыми глазами, из которых для дальнейшего анализа рассчитывалось среднее арифметическое значение для каждого испытуемого. Та же процедура проводилась для оценки пронации. Точность воспроизведения заданного суставного угла для пронации и супинации оценивалась с помощью показателя абсолютной ошибки (АО, \dots°), равного модулю разницы целевого и воспроизводимого суставных углов: $AO = |F_{ц.у} - F_{в.у}|$, где $F_{ц.у}$ – целевой угол, \dots° ; $F_{в.у}$ – воспроизводимый угол с закрытыми глазами, \dots° . Данный показатель был рассчитан для трех углов: 80 , 50 , 20° , а также определялась средняя АО, \dots° всех углов – отдельно для пронации и супинации.

В начале тестирования всем испытуемым на миографе (система функциональной электростимуляции «Траст-М», Neurocore, Россия) проводилось определение электромиографической активности длинной голов-

ки бицепса (супинатора) и круглого пронатора правого предплечья во время супинации и пронации в изометрическом режиме с максимальным усилием. Данный режим сокращения мышц был обеспечен с помощью неподвижного силового джойстика, который испытуемый удерживал правой кистью.

Электромиографическая активность отображалась на экране монитора в виде динамического столбика, а также в процентах от максимального мышечного усилия, что служило визуальной обратной связью для испытуемого.

Далее тестировалась точность воспроизведения восходящего дискретного усилия супинаторов и пронаторов (без промежуточного расслабления) во время изометрического сокращения при соответствующих направлениях движения: $0 \rightarrow 20 \rightarrow 50 \rightarrow 80\%$. А после 10-минутного отдыха – на протяжении дискретного расслабления тех же мышц в нисходящем направлении: $80 \rightarrow 50 \rightarrow 20\%$.

Оценка проприоцептивного контроля воспроизведения усилий проводилась отдельно для пронации и супинации предплечья. Тестирование силовой проприоцепции состояло из двух этапов. На первом испытуемый воспроизводил усилие по заданной схеме со зрительным контролем. Время удержания изометрического сокращения составляло 3 с. На втором этапе испытуемый воспроизводил заданную схему усилия по памяти: с закрытыми глазами, т. е. без зрительного контроля. Таким образом он выполнял три попытки, из которых в дальнейшем для анализа рассчитывалось среднее значение. Точность воспроизведения заданного уровня мышечного усилия оценивалась с помощью показателя АО, %, равного модулю разницы целевого и воспроизводимого усилия: $AO = |F_{ц.у} - F_{в.у}|$, где $F_{ц.у}$ – целевой уровень усилия, %; $F_{в.у}$ – воспроизводимый уровень усилия с закрытыми глазами, %. В целом рассчитывались АО, %, для попыток в 80 , 50 и 20% усилия от максимально возможного, а также средняя

АО, %, при выполнении пронации и супинации предплечья.

Все показатели имели нормальное распределение. Различия между группами «Спорт» и «Контроль» выявлялись с помощью непарного критерия Стьюдента. Сравнение АО усилий между сокращением и расслаблением выполнялось с применением парного критерия Стьюдента в программе STATISTICA v12. Данные на рисунках представлялись в виде средних значений и 95 %-х доверительных интервалов ($M \pm 95\%$ ДИ).

Результаты. Точность воспроизведения углов (20° , 50° и 80°) и средняя АО, ... $^\circ$ супинации предплечья не различались между группами (рис. 1а), как и точность воспроизведения углов (20° , 50° и 80°) и средняя АО, ... $^\circ$ пронации предплечья (рис. 1б). Таким образом, точность проприоцептивного контроля положения предплечья при его супинации и пронации не различалась между самбистами и спортсменами.

Точность воспроизведения всех усилий, в т. ч. среднего усилия, на протяжении дискретного сокращения ($20 \rightarrow 50 \rightarrow 80\%$) и дискретного

расслабления ($80 \rightarrow 50 \rightarrow 20\%$) при супинации предплечья у борцов была такая же, как и у спортсменов (рис. 2а, см. с. 334).

У самбистов выявлено снижение АО воспроизведения усилия в 80% , 50% и средней ($p < 0,01$), а также – АО воспроизведения усилия в 20% ($p < 0,1$) в течение дискретного расслабления круглого пронатора предплечья (рис. 2б, см. с. 334). Таким образом, точность воспроизведения усилий во время дискретного расслабления у спортсменов была выше, чем у спортсменов.

В общей группе испытуемых установлено, что средняя АО, %, воспроизведения 20% и 50% усилия во время дискретного расслабления (т. е. в нисходящем направлении: $80 \rightarrow 50 \rightarrow 20\%$) в процессе пронации предплечья была выше на $2,8\%$ ($p < 0,01$), чем средняя АО воспроизведения 20% и 50% усилия во время дискретного сокращения (т. е. в восходящем направлении: $0 \rightarrow 20 \rightarrow 50 \rightarrow 80\%$) (рис. 3, см. с. 334).

Различие в средней АО, %, было связано с тем, что АО на фоне усилия в 50% от максимального при расслаблении была больше на 4% ($p = 0,010$), чем при дискретном сокращении.

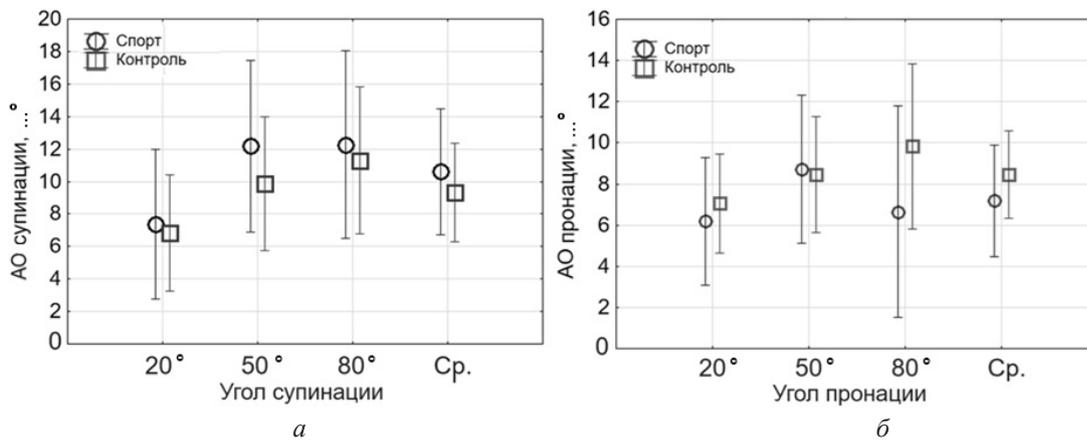


Рис. 1. Абсолютная ошибка воспроизведения угла наклона джойстика при супинации (а) и пронации (б) у спортсменов-самбистов и спортсменов ($M \pm 95\%$ ДИ): Ср. – средняя абсолютная ошибка для трех углов: 20° , 50° и 80°

Fig. 1. Absolute reproducibility error for hand sensor tilt angle at supination (a) and pronation (b) in sambo wrestlers and non-athletes ($M \pm 95\%$ confidence interval): Ср. – mean absolute error for three angles: 20° , 50° and 80°

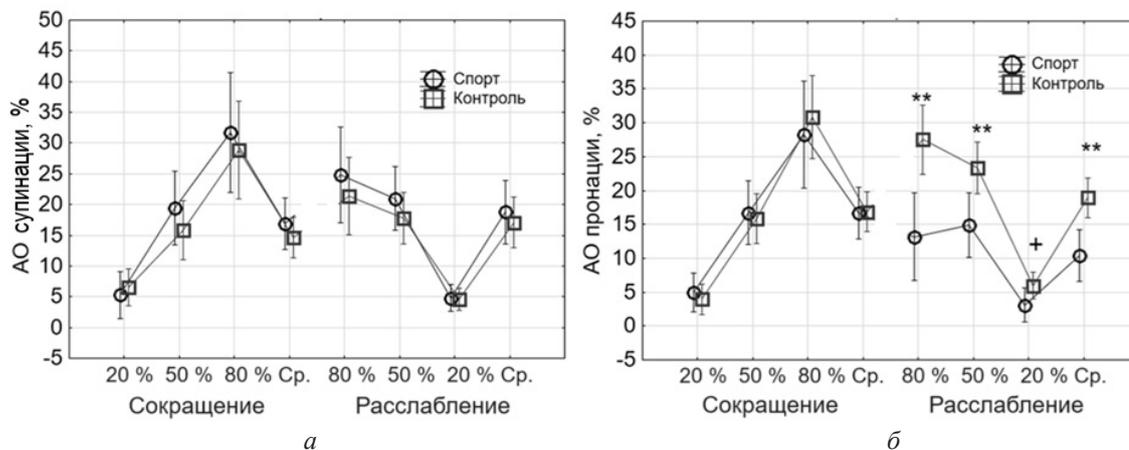


Рис. 2. Абсолютная ошибка воспроизведения усилия при дискретном сокращении и дискретном расслаблении во время супинации (а) и пронации (б) предплечья у спортсменов-самбистов и неспортсменов ($M \pm 95\%$ ДИ); + / ** – установлены статистически значимые различия между группами «Спорт» и «Контроль» при $p < 0,1$ и $p < 0,01$ соответственно

Fig. 2. Absolute reproducibility error for muscle effort at discrete contraction and discrete relaxation during forearm supination (a) and pronation (b) in sambo wrestlers and non-athletes ($M \pm 95\%$ confidence interval); + / ** – statistically significant differences were established between the Sport and Control groups at $p < 0.1$ and $p < 0.01$, respectively

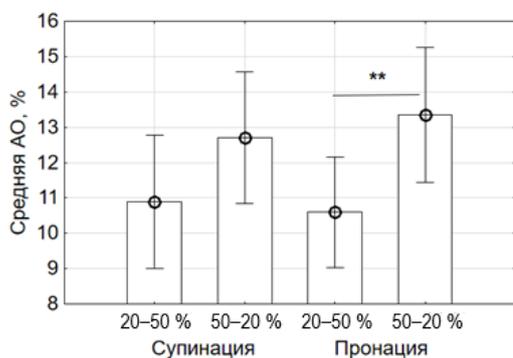


Рис. 3. Средняя абсолютная ошибка воспроизведения усилий в общей группе испытуемых ($n = 25$) при дискретном сокращении (20–50 %) и дискретном расслаблении (50–20 %) в процессе супинации и пронации предплечья ($M \pm 95\%$ ДИ): ** – установлены статистически значимые различия между сокращением и расслаблением при $p < 0,01$

Fig. 3. Mean absolute reproducibility error for muscle effort in the general sample ($n = 25$) at discrete contraction (20–50 %) and discrete relaxation (50–20 %) during forearm supination and pronation ($M \pm 95\%$ confidence interval): ** – statistically significant differences between contraction and relaxation were established at $p < 0.01$

При супинации различия в средней АО, %, между дискретным сокращением и расслаблением не выявлено.

Обсуждение. В результате данного исследования установлено, что у самбистов точность проприоцептивного контроля мышц-пронаторов предплечья повышена, причем главным образом – во время дискретного расслабления. Кроме того, в общей группе испытуемых точность такого контроля при расслаблении ниже, чем при изометрическом сокращении мышц.

Мы не обнаружили более точного воспроизведения положения предплечья у спортсменов в сравнении с неспортсменами. Исследования, анализирующие проприоцептивную точность положения предплечья у самбистов, в доступных источниках отсутствуют. Вместе с тем во многих работах показана повышенная точность воспроизведения положений конечностей у спортсменов [3, 4, 8]. Например, уровень спортивной квалификации элитных гимнастов, пловцов, спортивных танцоров, бадминтонистов и футболистов оказался по-

ложительно связан с усредненной проприоцептивной точностью воспроизведения положения позвоночного столба и сегментов конечностей в голеностопном, плечевом суставах [8]. На рост точности воспроизведения углов в локтевом и лучезапястном суставах при тренировке в баскетболе и дартсе косвенно указывают положительные корреляции точности бросков в цель с проприоцептивным контролем этих суставов [3, 4].

Вместе с тем результаты нашего исследования согласуются с данными работы, в которой также не было выявлено различий в проприоцептивной чувствительности суставных углов у спортсменов [9]. Например, элитные гимнасты не отличались по параметрам проприоцептивного контроля активного достижения угла локтевого сустава от неспортсменов, но демонстрировали меньший показатель ошибки пассивного воспроизведения положения предплечья [9].

Таким образом, несмотря на значительную тренированность мышц верхних конечностей и плечевого пояса во время занятий самбо, существенных изменений проприоцептивного контроля при воспроизведении положений предплечья у спортсменов не происходит.

Умение дифференцировать и воспроизводить мышечные усилия является отдельной проприоцептивной способностью, которая основана на информации от сухожильных рецепторов Гольджи и взаимодействии центральной двигательной команды с периферическими сигналами от сухожильных, а также мышечных проприоцепторов [5]. Согласно результатам нашего исследования, у спортсменов была существенно повышена точность воспроизведения усилия во время дискретного расслабления пронаторов предплечья, что указывает на рост проприоцептивного контроля этой модальности. Такие результаты согласуются с данными некоторых исследований о повышенном проприоцептивном контроле (силовой проприоцепции) сгибателей и разгибателей предплечья у спортсменов [10]. В частности, у гимнастов воспроизводимость 50 % усилия при движении в локтевом суставе была на 33 % выше, чем у

неспортсменов [10]. Снижение ошибки воспроизведения усилия при движении в плечевом суставе ведущей руки отмечалось после силовой тренировки как у здоровых волейболистов, так и у волейболистов с атрофией подостной мышцы [11, 12].

Важным результатом нашего исследования является повышение на 4 % ($p = 0,010$) точности воспроизведения 50 % усилия во время дискретного расслабления у самбистов по сравнению с контрольной группой. При этом точность воспроизведения усилия во время нисходящего дискретного расслабления в общей группе была ниже, чем во время восходящего сокращения, что в целом согласуется с литературными данными [7].

Таким образом, мы полагаем, что силовая тренировка мышц верхних конечностей в самбо, в течение которой задействуются все режимы сокращений с разными кинематическими параметрами движений, эффективно развивает способность к дискретному расслаблению мышц предплечья, что объясняет более высокую способность к проприоцептивному контролю у спортсменов. С другой стороны, повышенная способность к воспроизведению мышечного сокращения может быть обусловлена врожденными особенностями обследованных самбистов.

Для раскрытия механизмов развития повышенной способности к проприоцептивному контролю мышц у спортсменов, а также возможного обоснования методов целенаправленной тренировки такой способности необходимо проведение дальнейших испытаний.

В данном сравнительном исследовании была изучена способность к проприоцептивному контролю положения предплечья и мышечного усилия пронаторов и супинаторов у самбистов. Установлено, что способность к воспроизведению положения предплечья у спортсменов сопоставима с таковой у неспортсменов. Однако точность воспроизведения мышечного усилия во время дискретного расслабления круглого пронатора предплечья у самбистов была выше, чем у контрольной группы.

Мы полагаем, что занятия спортивной борьбой больше способствуют совершенствованию проприоцептивного контроля усилий в сложной фазе расслабления мышц верхних конечностей, чем в фазе сокращения.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Sarlegna F.R., Sainburg R.L. The Roles of Vision and Proprioception in the Planning of Reaching Movements // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2009. Vol. 629. P. 317–335. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77064-2_16
2. Sainburg R.L., Ghilardi M.F., Poizner H., Ghez C. Control of Limb Dynamics in Normal Subjects and Patients Without Proprioception // *J. Neurophysiol.* 1995. Vol. 73, № 2. P. 820–835. <https://doi.org/10.1152/jn.1995.73.2.820>
3. Sevez V., Bourdin C. On the Role of Proprioception in Making Free Throws in Basketball // *Res. Q. Exerc. Sport.* 2015. Vol. 86, № 3. P. 274–280. <https://doi.org/10.1080/02701367.2015.1012578>
4. Feng J., Hung T.-M., Huang R., Hou S., Ren J. Role of Proprioception in Slow and Rapid Movements // *Percept. Mot. Skills.* 2020. Vol. 127, № 2. P. 281–298. <https://doi.org/10.1177/0031512519895632>
5. Proske U., Gandevia S.C. The Proprioceptive Senses: Their Roles in Signaling Body Shape, Body Position and Movement, and Muscle Force // *Physiol. Rev.* 2012. Vol. 92, № 4. P. 1651–1697. <https://doi.org/10.1152/physrev.00048.2011>
6. Kato K., Vogt T., Kanosue K. Brain Activity Underlying Muscle Relaxation // *Front. Physiol.* 2019. Vol. 10. Art. № 1457. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01457>
7. Ohtaka C., Fujiwara M. Control Strategies for Accurate Force Generation and Relaxation // *Percept. Mot. Skills.* 2016. Vol. 123, № 2. P. 489–507. <https://doi.org/10.1177/0031512516664778>
8. Han J., Waddington G., Anson J., Adams R. Level of Competitive Success Achieved by Elite Athletes and Multi-Joint Proprioceptive Ability // *J. Sci. Med. Sport.* 2015. Vol. 18, № 1. P. 77–81. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.11.013>
9. Niespodziński B., Kochanowicz A., Mieszkowski J., Piskorska E., Żychowska M. Relationship Between Joint Position Sense, Force Sense, and Muscle Strength and the Impact of Gymnastic Training on Proprioception // *Biomed. Res. Int.* 2018. Vol. 2018. Art. № 5353242. <https://doi.org/10.1155/2018/5353242>
10. Niespodziński B., Mieszkowski J., Sawczyn S., Kochanowicz K., Szulc A., Zasada M., Kochanowicz A. Elbow Joint Position and Force Senses in Young and Adult Untrained People and Gymnasts // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022. Vol. 19, № 13. Art. № 7592. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137592>
11. Salles J.I., Velasques B., Cossich V., Nicoliche E., Ribeiro P., Amaral M.V., Motta G. Strength Training and Shoulder Proprioception // *J. Athl. Train.* 2015. Vol. 50, № 3. P. 277–280. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.84>
12. Salles J.I., Guimarães J.M., Filho G.M., Morrissey D. Effect of a Specific Exercise Strategy on Strength and Proprioception in Volleyball Players with Infraspinatus Muscle Atrophy // *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2018. Vol. 28, № 9. P. 2093–2099. <https://doi.org/10.1111/sms.13216>

References

1. Sarlegna F.R., Sainburg R.L. The Roles of Vision and Proprioception in the Planning of Reaching Movements. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 2009, vol. 629, pp. 317–335. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77064-2_16
2. Sainburg R.L., Ghilardi M.F., Poizner H., Ghez C. Control of Limb Dynamics in Normal Subjects and Patients Without Proprioception. *J. Neurophysiol.*, 1995, vol. 73, no. 2, pp. 820–835. <https://doi.org/10.1152/jn.1995.73.2.820>
3. Sevez V., Bourdin C. On the Role of Proprioception in Making Free Throws in Basketball. *Res. Q. Exerc. Sport.* 2015, vol. 86, no. 3, pp. 274–280. <https://doi.org/10.1080/02701367.2015.1012578>
4. Feng J., Hung T.-M., Huang R., Hou S., Ren J. Role of Proprioception in Slow and Rapid Movements. *Percept. Mot. Skills*, 2020, vol. 127, no. 2, pp. 281–298. <https://doi.org/10.1177/0031512519895632>

5. Proske U., Gandevia S.C. The Proprioceptive Senses: Their Roles in Signaling Body Shape, Body Position and Movement, and Muscle Force. *Physiol. Rev.*, 2012, vol. 92, no. 4, pp. 1651–1697. <https://doi.org/10.1152/physrev.00048.2011>
6. Kato K., Vogt T., Kanosue K. Brain Activity Underlying Muscle Relaxation. *Front. Physiol.*, 2019, vol. 10. Art. no. 1457. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01457>
7. Ohtaka C., Fujiwara M. Control Strategies for Accurate Force Generation and Relaxation. *Percept. Mot. Skills*, 2016, vol. 123, no. 2, pp. 489–507. <https://doi.org/10.1177/0031512516664778>
8. Han J., Waddington G., Anson J., Adams R. Level of Competitive Success Achieved by Elite Athletes and Multi-Joint Proprioceptive Ability. *J. Sci. Med. Sport*, 2015, vol. 18, no. 1, pp. 77–81. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.11.013>
9. Niespodziński B., Kochanowicz A., Mieszkowski J., Piskorska E., Żychowska M. Relationship Between Joint Position Sense, Force Sense, and Muscle Strength and the Impact of Gymnastic Training on Proprioception. *Biomed. Res. Int.*, 2018, vol. 2018. Art. no. 5353242. <https://doi.org/10.1155/2018/5353242>
10. Niespodziński B., Mieszkowski J., Sawczyn S., Kochanowicz K., Szulc A., Zasada M., Kochanowicz A. Elbow Joint Position and Force Senses in Young and Adult Untrained People and Gymnasts. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, vol. 19, no. 13. Art. no. 7592. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137592>
11. Salles J.I., Velasques B., Cossich V., Nicoliche E., Ribeiro P., Amaral M.V., Motta G. Strength Training and Shoulder Proprioception. *J. Athl. Train.*, 2015, vol. 50, no. 3, pp. 277–280. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.84>
12. Salles J.I., Guimarães J.M., Filho G.M., Morrissey D. Effect of a Specific Exercise Strategy on Strength and Proprioception in Volleyball Players with Infraspinatus Muscle Atrophy. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2018, vol. 28, no. 9, pp. 2093–2099. <https://doi.org/10.1111/sms.13216>

Поступила в редакцию 18.10.2023 / Одобрена после рецензирования 19.01.2024 / Принята к публикации 23.01.2024.
Submitted 18 October 2023 / Approved after reviewing 19 January 2024 / Accepted for publication 23 January 2024.