

УДК 796.412.2; 612.741

## Особенности межмышечной координации верхней конечности при вращении обруча в разных скоростных режимах у гимнасток высокой квалификации

Коновалова Л. А. \*, Поканинов В. Б., Титова М. А.

Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма  
г. Казань, Россия

ORCID: 0000-0001-8313-1257, liliykonovalov@yandex.ru \*

ORCID: 0000-0002-3349-5244, valerapokaninov@yandex.ru  
beufly@mail.ru

**Аннотация.** **Актуальность** исследования обусловлена возрастающими требованиями к технической подготовленности гимнасток высокой квалификации в условиях усложнения соревновательных программ и увеличения плотности двигательных действий с предметами. Особую значимость приобретает понимание нервно-мышечных механизмов, обеспечивающих точность и стабильность манипуляций, в частности, вращательных движений с обручем, выполняемых в разных скоростных режимах. **Цель исследования** — выявить особенности межмышечной координации верхней конечности при вращении обруча в разных скоростных режимах у гимнасток высокой квалификации на основе анализа электромиографических паттернов четырех ключевых мышц. **Научная новизна** состоит в том, что впервые выявлены количественные закономерности перестройки межмышечной координации при вращении обруча в зависимости от темпа с отдельной оценкой доминантной и недоминантной руки. Показано, что увеличение скорости вызывает не просто рост мышечной активности, а качественную трансформацию паттерна с изменением вклада проксимальных и дистальных звеньев, причём в недоминантной руке наблюдается переключение на дистально-компенсаторную стратегию. **Практическая значимость** заключается в возможности использования выявленных ЭМГ-паттернов и коэффициента P/D в качестве объективных критериев технической подготовленности гимнасток для текущего педагогического контроля и индивидуализации тренировочных программ, направленных на укрепление проксимальных стабилизаторов и снижение координационной асимметрии у гимнасток. **Методы исследования.** В исследовании приняли участие 13 гимнасток (КМС и МС, возраст 18–20 лет). Проводилась регистрация поверхностной ЭМГ двуглавой и трёхглавой мышц плеча, локтевого и лучевого сгибателей запястья при вращении обруча в сагиттальной плоскости правой и левой рукой в двух скоростных режимах. Оценивались амплитудные, энергетические и мощностные характеристики сигнала, а также коэффициент соотношения активностей проксимальных и дистальных мышц (P/D). **Результаты.** Установлено, что в обычном темпе доминирующую роль во всех показателях играет трёхглавая мышца плеча, обеспечивающая изометрическую стабилизацию локтевого сустава. При переходе к максимальному темпу в правой руке наблюдается выравнивание вклада проксимальных и дистальных мышц (коэффициент P/D снижается с 1,08 до 1,02). В левой (недоминантной) руке выявлена менее стабильная организация активности: в максимальном темпе локтевой сгибатель запястья становится ведущим по энергозатратам, а коэффициент P/D снижается с 0,98 до 0,72, что свидетельствует о переключении на дистально-компенсаторную стратегию. Разница межручной асимметрии коэффициента P/D возрастает с 10 % в обычном темпе до 29 % в максимальном. **Заключение.** Трёхглавая мышца плеча выполняет ключевую стабилизирующую функцию при вращении обруча независимо от скоростного режима. Увеличение темпа сопровождается качественной перестройкой координационного паттерна с вовлечением сгибателей запястья, особенно выраженной в недоминантной руке.

**Ключевые слова:** художественная гимнастика, электромиография, межмышечная координация, скорость вращения обруча.

**Для цитирования:** Коновалова Л. А. \*, Поканинов В. Б., Титова М. А. Особенности межмышечной координации верхней конечности при вращении обруча в разных скоростных режимах у гимнасток высокой квалификации. Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2026 ; 21 (3) : 98 - 105.

## Features of intermuscular coordination of the upper limb when hoop rotation at different speed modes in highly qualified gymnasts

Liliya A. Konovalova \*, Valeriy B. Pokaninov, Mariya A. Titova

Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism  
Kazan, Russia

ORCID: 0000-0001-8313-1257, liliykonovalov@yandex.ru \*

ORCID: 0000-0002-3349-5244, valerapokaninov@yandex.ru  
beufly@mail.ru

**Abstract.** The relevance of this study stems from the increasing demands placed on the technical fitness of highly qualified gymnasts in the context of increasingly complex competition programs and an increasing density of motor actions with apparatus. Understanding the neuromuscular mechanisms that ensure the precision and stability of manipulations, particularly rotational movements with a hoop, performed at different speeds, is of particular importance. **The aim** of the study was to identify the features of the intermuscular coordination of the upper limb during hoop rotation in different speed modes in highly qualified gymnasts based on the analysis of electromyographic patterns of four key muscles. **The scientific novelty** lies in the fact that for the first time, quantitative patterns of intermuscular coordination reorganization during hoop rotation depending on tempo have been identified, with separate assessment of the dominant and non-dominant hands. It is shown that an increase in speed causes not simply an increase in muscle activity, but a qualitative transformation of the pattern with a change in the contribution of the proximal and distal components, with a switch to a distal compensatory strategy observed in the non-dominant hand. **The practical significance** lies in the possibility of using the identified EMG patterns and the P/D ratio as objective criteria of the gymnasts' technical fitness for ongoing pedagogical monitoring and individualization of training programs aimed at strengthening the proximal stabilizers and reducing coordination asymmetry in gymnasts. **Research methods.** The study involved 13 gymnasts (KMS and MS, aged 18-20 years). The surface EMG of the biceps and triceps muscles of the shoulder, ulnar and radial flexors of the wrist was recorded when the hoop was rotated in the sagittal plane with the right and left hands in two speed modes. The amplitude, energy, and power characteristics of the signal were evaluated, as well as the ratio of activity of the proximal and distal muscles (P/D). **Results.** It was found that at a normal pace, the triceps muscle of the shoulder plays a dominant role in all indicators, providing isometric stabilization of the elbow joint. When moving to the maximum pace in the right arm, the contribution of the proximal and distal muscles is equalized (the P/D coefficient decreases from 1.08 to 1.02). In the left (non-dominant) hand, a less stable organization of activity was revealed: at the maximum rate, the ulnar flexor of the wrist becomes the leading one in terms of energy consumption, and the P/D coefficient decreases from 0.98 to 0.72, which indicates a switch to a distal compensatory strategy. The difference in the hand-to-hand asymmetry of the P/D coefficient increases from 10% at the normal rate to 29% at the maximum. **Conclusion.** The triceps muscle of the shoulder performs a key stabilizing function when the hoop rotates, regardless of the speed limit. The increase in tempo is accompanied by a qualitative restructuring of the coordination pattern involving the flexors of the wrist, especially pronounced in the non-dominant hand.

**Keywords:** rhythmic gymnastics, electromyography, intermuscular coordination, hoop rotation speed.

**For citation:** Liliya A. Konovalova \*, Valeriy B. Pokaninov, Mariya A. Titova. Features of intermuscular coordination of the upper limb when hoop rotation at different speed modes in highly qualified gymnasts. Russian Journal of Physical Education and Sport. 2026 ; 21 (3) : .

## Введение

Современные требования к соревновательным программам в художественной гимнастике предполагают выполнение технически сложных, вариативных и высокоточных манипуляций с предметами на фоне возрастающей сложности элементов без предмета. Это обуславливает необходимость высокого уровня сенсомоторной организации движений и тонкого управления предметом с учетом пространственных, временных и динамических характеристик. В данных условиях уровень развития специфической предметной координации выступает одним из ключевых факторов, определяющих качество соревновательного упражнения и, в конечном счете, успешность выступлений гимнастки.

Особую значимость в этой связи приобретает проблема объективного этапного педагогического контроля, основанного на использовании информативных физиологических и биомеханических методов, позволяющих достоверно оценивать уровень развития предметной координации гимнасток. Разработка новых и совершенствование традиционных спортивных технологий неразрывно связаны с углублением знаний о структуре нервно-мышечного аппарата и механизмах управления движениями различной координационной сложности.

Художественная гимнастика относится к видам спорта, предъявляющим экстремально высокие требования к координационным способностям спортсменок. Соревновательные программы включают сложно-координационные элементы без предмета и технически тонкие манипуляции с предметами (скакалкой, обручем, мячом, булавами, лентой) в условиях дефицита времени и возрастающей конкуренции. Эффективность этих манипуляций определяется не столько изолированной силой мышц кисти, сколько согласованным взаимодействием проксимальных (плечевой пояс, плечо) и дистальных (предплечье, кисть) звеньев верхней конечности. Именно характер этого взаимодействия или межмышечная координация, определяет стабильность удержания предмета, точность траектории и скорость выполнения двигательного акта.

Современная научная литература убедительно демонстрирует, что тонкие движения кистью невозможны без стабильной фиксации проксимальных суставов. В исследовании Silva et al. (2017) было показано, что при выполнении тестов на ловкость (Box and Blocks Test, Nine-Hole Peg Test) активность проксимальных мышц — трапецевидной, дельтовидной, грудной и трехглавой плеча — статистически значимо возрастает по сравнению с дистальными сгибателями запястья. Авторы интерпретируют это как реализацию принципа «проксимальная стабиль-

ность — дистальная мобильность», при котором точность работы кисти обеспечивается жесткой фиксацией плечевого и локтевого суставов [1]. В работе Naider-Steinhart & Katz-Leurer (2007) аналогичный паттерн был подтвержден при анализе письменных движений: активность проксимальных мышц оставалась стабильно низкой (менее 25% от максимального произвольного сокращения) и маловариабельной, что свидетельствует об их стабилизационной, а не двигательной функции [2].

Однако большинство исследований межмышечной координации верхней конечности выполнено на бытовых или лабораторных движениях (захват, перенос, письмо). В спортивной практике, особенно в художественной гимнастике, двигательные задачи значительно сложнее: вращение обруча требует не только удержания предмета, но и придания ему вращательного импульса с одновременным поддержанием устойчивой траектории в пространстве. При этом скорость вращения (темп) может варьироваться в широких пределах, что, вероятно, требует перестройки координационных стратегий. В литературе практически отсутствуют данные о том, как именно изменяется паттерн межмышечной координации при переходе от комфортного к максимальному темпу и существуют ли различия в этих стратегиях между доминантной и недоминантной рукой.

Кроме того, при асимметричных движениях (например, вращение обруча одной рукой) в контралатеральной конечности могут наблюдаться феномены «зеркальной» ЭМГ-активности, описанные Ridderikhoff et al. (2005). Авторы показали, что при односторонних ритмических движениях в мышцах неподвижной руки возникают эпизоды когерентной активности, преимущественно в разгибателях, что интерпретируется как результат непроизвольного «перетекания» нервных сигналов с работающей руки на противоположную и может отражать процессы межполушарного взаимодействия. [3]. Этот феномен имеет прямое отношение к художественной гимнастике, поскольку многие упражнения выполняются одной рукой, тогда как другая выполняет стабилизирующую или вспомогательную функцию.

В контексте спортивной подготовки важные данные получены в исследовании Джелдубаевой с соавт. (2018), выполненном на спортсменах ациклических видов спорта (борцы, баскетболисты, тхэквондисты) с использованием метода поверхностной интерференционной электромиографии. Авторы проанализировали характер биоэлектрической активности мышц предплечья и кисти при расслаблении, сжатии в кулак и последующем расслаблении. Установле-

но, что электромиографический паттерн имеет специфические особенности у спортсменов разной профессиональной направленности: максимальная амплитуда мышечных турнов при сжатии кисти была достоверно выше у борцов по сравнению с тхэквондистами при отведении от разгибателя пальцев (на 59,64%) и короткого сгибателя большого пальца (на 38,61%). При этом у баскетболистов зафиксированы максимальные показатели амплитуды при отведении от короткого сгибателя большого пальца. Авторы связывают выявленные различия с разной структурой соревновательной деятельности и спецификой мышечных нагрузок в каждом виде спорта. Кроме того, в работе показано, что турно-амплитудный анализ ЭМГ позволяет выявить «избыточное» мышечное напряжение, которое сам спортсмен может не осознавать, что открывает возможности для оптимизации координационных взаимоотношений в межмышечных связях при выполнении специальных упражнений [4].

В контексте вращательных движений с обручем особую значимость приобретает анализ работы мышц, обеспечивающих стабилизацию локтевого сустава (трехглавая мышца плеча) и тонкую настройку положения кисти (сгибатели запястья). Именно характер их взаимодействия определяет, насколько плавно и контролируемо будет вращаться предмет.

Таким образом, в зарубежной и отечественной литературе накоплены данные, свидетельствующие о том, что: 1) проксимальные мышцы играют ключевую стабилизирующую роль при выполнении тонких движений кистью; 2) при асимметричных движениях наблюдается феномен контралатеральной когерентной активности; 3) ЭМГ-паттерны спортсменов имеют специфику, обусловленную видом спорта и характером мышечных нагрузок.

Однако практически отсутствуют исследования, в которых ЭМГ-анализ применялся бы для изучения специфических предметных манипуляций в художественной гимнастике, в частности, вращательных движений с обручем, выполняемых в разных скоростных режимах. Остается неясным, как перестраивается межмышечная координация при переходе от комфортного к максимальному темпу и существуют ли различия в координационных стратегиях между доминантной и недоминантной рукой у гимнасток высокой квалификации.

Цель исследования - выявить особенности межмышечной координации верхней конечности при вращении обруча в разных скоростных режимах у гимнасток высокой квалификации на основе анализа электромиографических паттернов четырех ключевых мышц.

## Материалы и методы

В исследовании приняли участие 13 гимнасток квалификации кандидатов в мастера спорта и мастеров спорта (возраст 18–20 года, стаж занятий 8–14 лет). Выборка соответствовала рекомендациям, принятым в ЭМГ-исследованиях [2, 4]. Критерии включения: отсутствие травм верхних конечностей в течение последних 6 месяцев, регулярные тренировки (не менее 5 раз в неделю), выполнение вращения обруча в сагиттальной плоскости как технического элемента высокой степени автоматизации.

Регистрация поверхностных ЭМГ-сигналов проводилась на базе научно-исследовательского института Поволжского ГУФКСИТ с использованием беспроводного нейромиоанализатора НМА-4-01 «Нейромиан». Регистрировалась активность четырех мышц верхней конечности: *m. biceps brachii* (двуглавая мышца плеча — сгибатель локтя, антагонист трицепса), *m. triceps brachii* (трехглавая мышца плеча — разгибатель локтя, ключевой стабилизатор локтевого сустава), *m. flexor carpi ulnaris* (локтевой сгибатель запястья) и *m. flexor carpi radialis* (лучевой сгибатель запястья). Выбор мышц был обоснован их ключевой ролью в стабилизации локтевого и лучезапястного суставов при удержании и вращении предмета на основании данных Silva et al. (2017) [2].

Испытуемые выполняли вращательные движения обручем в сагиттальной плоскости правой и левой рукой в двух условиях: обычный темп (комфортная скорость, задаваемая самостоятельно) и максимальный темп (инструкция: «вращать обруч как можно быстрее, сохраняя контроль над траекторией»). Длительность регистрации составляла 10 секунд для каждого условия, выполнялось по 5 повторений. Порядок условий и рук рандомизировался.

Обработка сигналов включала вычисление следующих параметров для каждого двигательного акта: *Amax* (мкВ) — максимальная амплитуда ЭМГ-сигнала (индикатор пикового напряжения мышцы); *A<sub>фр.ср</sub>* (мкВ) — средняя амплитуда за цикл вращения (индикатор средней интенсивности работы); *Эср* (нДж) — средняя энергия сигнала (интегральный показатель метаболических затрат); *Мср* (нВт) — средняя мощность сигнала (скорость энергозатрат).

Полученные данные подвергали статистической обработке. Для всех переменных была рассчитана базовая описательная статистика ( $\text{Mean} \pm \text{SE}$ ). Для оценки межмышечной координации рассчитывался коэффициент соотношения активностей проксимальных и дистальных мышц (*Proximal/Distal Ratio, P/D*).

Таблица 1

Показатели электромиографии вращения обруча правой рукой в обычном темпе

| Показатель                | Двуглавая м. плеча | Трехглавая м. плеча   | Локтевой сгибатель запястья | Лучевой сгибатель запястья |
|---------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| А <sub>мах</sub> , мкВ    | 1331,68±163,67     | <b>1408,06±155,92</b> | 1339,88±153,4               | 1309,34±154,06             |
| А <sub>фр.ср.</sub> , мкВ | 113,53±13,91       | <b>122,02±13,52</b>   | 115,09±13,28                | 110,25±13,09               |
| Э <sub>ср</sub> , нДж     | 271,5±60           | <b>294,83±57,3</b>    | 274,35±56,02                | 260,88±55,69               |
| М <sub>ср</sub> , нВт     | 47,51±10,99        | <b>51,75±10,51</b>    | 48,08±10,26                 | 45,65±10,19                |

**Примечание:** полужирным выделены максимальные значения по каждому показателю.

В обычном темпе вращения правой руки трехглавая мышца плеча доминирует по всем анализируемым параметрам: максимальная амплитуда (1408,06±155,92 мкВ), средняя амплитуда (122,02±13,52 мкВ), энергия сигнала (294,83±57,3 нДж) и мощность (51,75±10,51 нВт). Двуглавая мышца плеча и локтевой сгибатель запястья демонстрируют близкие, но более низкие значения, тогда как лучевой сгибатель запястья является наименее активной мышцей (А<sub>мах</sub> = 1309,34±154,06 мкВ, Э<sub>ср</sub> = 260,88±55,69 нДж).

При переходе к максимальному темпу (таблица 2) наблюдается значительная перестройка координационного паттерна.

Трехглавая мышца плеча сохраняет лидирующее положение, однако абсолютный прирост

показателей при переходе к максимальному темпу неравномерен: энергия сигнала возрастает на 76,2% (с 294,83 до 518,83 нДж), средняя амплитуда — на 59 % (с 122 до 194 мкВ). Локтевой сгибатель запястья демонстрирует прирост энергии на 77,8%, а лучевой — на 67,7%. Наименьший прирост зафиксирован у двуглавой мышцы (66,5%).

Коэффициент P/D (проксимальные/дистальные мышцы) в правой руке в обычном темпе составляет 1,08 (суммарная энергия проксимальных мышц — 566,33 нДж, дистальных — 535,23 нДж), тогда как в максимальном темпе он снижается до 1,02 (970,07 и 925,27 нДж соответственно), что указывает на выравнивание вклада проксимальных и дистальных мышц при увеличении скорости вращения.

Таблица 2

Показатели электромиографии вращения обруча правой рукой в максимальном темпе

| Показатель                | Двуглавая м. плеча | Трехглавая м. плеча | Локтевой сгибатель запястья | Лучевой сгибатель запястья |
|---------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| А <sub>мах</sub> , мкВ    | 1816,3±182,8       | <b>1932±183,5</b>   | 1855±179,97                 | 1799,47±171,65             |
| А <sub>фр.ср.</sub> , мкВ | 180,8±19,4         | <b>194,25±20,1</b>  | 186,58±19,52                | 177,92±18,08               |
| Э <sub>ср</sub> , нДж     | 451,24±81,2        | <b>518,83±89,3</b>  | 487,73±87,26                | 437,54±75,69               |
| М <sub>ср</sub> , нВт     | 105,6±18,94        | <b>120,39±20,7</b>  | 113,53±20,2                 | 102,33±17,64               |

**Паттерны межмышечной координации в левой (недоминантной) руке.** В таблице 3 представлены показатели левой руки в обычном темпе.

Таблица 3

Показатели электромиографии вращения обруча правой рукой в максимальном темпе

| Показатель   | Двуглавая м. плеча | Трехглавая м. плеча | Локтевой сгибатель запястья | Лучевой сгибатель запястья |
|--------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Амах, мкВ    | 1303,64±138,57     | 1332,41±135,85      | 1278,56±140,46              | 1251,26±142,59             |
| Афр. ср, мкВ | 105,8±10,64        | 108,08±10,43        | 102,67±10,74                | 100,06±10,89               |
| Эср, нДж     | 233,28±43,6        | 222,35±39,78        | 225,71±43,77                | 221,29±44,02               |
| Мср, нВт     | 39,85±7,39         | 38,02±6,77          | 38,52±7,42                  | 37,75±7,46                 |

Таблица 4

Показатели электромиографии вращения обруча левой рукой в максимальном темпе

| Показатель   | Двуглавая м. плеча | Трехглавая м. плеча | Локтевой сгибатель запястья | Лучевой сгибатель запястья |
|--------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Амах, мкВ    | 1349,59±261,78     | 1727,56±180,9       | 1505,65±317,22              | 1658,29±322,08             |
| Афр. ср, мкВ | 136,02±26,68       | 160,87±16,3         | 157,91±40,58                | 159,51±28,75               |
| Эср, нДж     | 300,03±108,47      | 417,99±84,63        | 465,66±261,04               | 381,96±110                 |
| Мср, нВт     | 61,64±21,45        | 86,56±17,46         | 95,49±53,85                 | 79,52±23,4                 |

В максимальном темпе левой руки трехглавая мышца плеча сохраняет лидерство по амплитудным параметрам (Амах — 1727,56 мкВ; Афр. ср — 160,87 мкВ), однако по энергетическим показателям доминирует локтевой сгибатель (Эср — 465,66±261,04 нДж; Мср — 95,49±53,85 нВт), тогда как двуглавая мышца становится наименее активной (Эср — 300,03±108,47 нДж).

Прирост энергии сигнала при переходе к максимальному темпу в левой руке составляет:

- для трехглавой мышцы плеча — 88% (с 222,35 до 417,99 нДж);
- для локтевого сгибателя запястья — 106% (с 225,71 до 465,66 нДж);
- для лучевого сгибателя запястья — 72,6% (с 221,29 до 381,96 нДж);
- для двуглавой мышцы плеча — всего 28,6% (с 233,28 до 300,03 нДж).

Коэффициент P/D в левой руке в обычном темпе составляет 0,98 (суммарная энергия проксимальных мышц — 455,63 нДж, дистальных — 447,0 нДж), тогда как в максимальном темпе он резко снижается до 0,72 (718,02 и 847,62 нДж соответственно). Это означает, что при увеличении скорости вращения в недоминантной руке происходит переключение координационной стратегии с проксимально-стабилизационной на дистально-компенсаторную.

**Межручная асимметрия координационных паттернов.** Сравнение коэффициентов P/D между правой и левой рукой выявило выраженную асимметрию. В обычном темпе: правая рука — P/D = 1,08; левая рука — P/D = 0,98 (разница 10%). В максимальном темпе: правая рука — P/D = 1,02; левая рука — P/D = 0,72 (разница 29%).

Таким образом, при увеличении скорости вращения асимметрия координационных стратегий между доминантной и недоминантной рукой возрастает втрое. В правой руке сохраняется

сбалансированный проксимально-дистальный паттерн с акцентом на трехглавую мышцу, тогда как в левой руке происходит перераспределение нагрузки на дистальные сгибатели запястья, компенсирующее недостаточную стабильность проксимальных звеньев.

Полученные результаты позволяют сформулировать несколько ключевых положений, касающихся межмышечной координации верхней конечности при вращательных движениях с обручем.

1. Трехглавая мышца плеча как универсальный стабилизатор. Во всех экспериментальных условиях трехглавая мышца плеча демонстрирует максимальную амплитуду и среднюю активность, что указывает на ее ключевую роль в изометрической стабилизации локтевого сустава. Этот результат полностью согласуется с данными Silva et al. (2017), которые показали доминирование проксимальных мышц (включая трехглавую) в тестах, требующих перемещения предметов [1]. В контексте вращения обруча трехглавая мышца работает как «антигравитационный демпфер», противодействуя центробежной силе и обеспечивая жесткость кинематической цепи «плечо-предплечье-кисть». Без ее стабильной работы точное вращение обруча было бы невозможно.

2. Перестройка координационного паттерна при увеличении темпа. Переход от обычного к максимальному темпу сопровождается не просто пропорциональным возрастанием активности всех мышц, а качественным изменением их соотношения. В правой руке коэффициент P/D снижается с 1,08 до 1,02, что означает выравнивание вклада проксимальных и дистальных звеньев. Это можно интерпретировать как включение дистальных мышц в активную работу по удержанию обруча на высокой скорости: сгибатели запястья начинают не только стабилизировать сустав, но и участвовать в модуляции захвата. Подобный феномен описан в работе De Luca (1997) как «рекрутирование дополнительных двигательных единиц при возрастании требований к точности» [5].

3. Специфика координации в недоминантной руке. Наиболее интересным результатом представляется кардинальная перестройка паттерна в левой руке при переходе к максимальному темпу: P/D снижается с 0,98 до 0,72, а локтевой сгибатель запястья становится ведущим по энергозатратам. Это свидетельствует о том, что в недоминантной конечности механизмы стабилизации менее совершенны, и при возрастании скоростных требований система вынуждена компенсировать недостаточную проксимальную стабильность за счет повышенной активности

дистальных мышц. Локтевой сгибатель запястья, обладающий большей мышечной массой по сравнению с лучевым, берет на себя функцию удержания обруча в условиях дефицита времени.

Это наблюдение может быть объяснено с позиций теории нейрогенного кросс-толка (Ridderikhoff et al., 2005). Авторы показали, что при односторонних ритмических движениях в контралатеральной конечности возникает когерентная ЭМГ-активность, преимущественно в разгибателях, но эта активность носит эпизодический характер и имеет меньшую амплитуду [3]. В нашем исследовании левая рука, не являющаяся доминантной, вероятно, получает от правого полушария менее дифференцированный двигательный «образ» вращения, что вынуждает ее использовать более грубую координационную стратегию с вовлечением дистальных мышц.

4. Практическая значимость для тренировочного процесса. Полученные данные указывают на необходимость включения в подготовку гимнасток специализированных упражнений на изометрическую стабилизацию локтевого сустава (с акцентом на трехглавую мышцу плеча) и развитие координационных способностей недоминантной руки в условиях высокоскоростных вращений. Упражнения с утяжеленными обручами или резиновыми амортизаторами могут способствовать повышению стабильности проксимальных звеньев и снижению компенсаторной нагрузки на дистальные мышцы, что, вероятно, снизит риск перегрузок и травм лучезапястного сустава.

## Заключение

1. При вращении обруча в обычном темпе в доминантной (правой) руке ведущую роль выполняет трехглавая мышца плеча, обеспечивающая изометрическую стабилизацию локтевого сустава. Лучевой сгибатель запястья является наименее активной мышцей, что указывает на его второстепенную роль в удержании предмета по сравнению с проксимальными стабилизаторами.

2. При переходе к максимальному темпу вращения в правой руке наблюдается выравнивание вклада проксимальных и дистальных мышц (коэффициент P/D снижается с 1,08 до 1,02), что свидетельствует о перестройке координационной стратегии в сторону активного вовлечения сгибателей запястья для удержания контроля над предметом на высокой скорости.

3. В недоминантной (левой) руке распределение активности мышц менее стабильно и в большей степени зависит от скоростного режи-

ма. В обычном темпе двуглавая мышца плеча сопоставима с трехглавой по энергозатратам; в максимальном темпе локтевой сгибатель запястья становится ведущим по энергии сигнала, а двуглавая мышца — наименее активной, что отражает переключение на дистально-компенсаторную стратегию.

4. Асимметрия координационных стратегий между правой и левой рукой возрастает при увеличении темпа вращения (разница коэффициентов P/D увеличивается с 10% до 29%), что указывает на менее совершенные механизмы проксимальной стабилизации в недоминантной конечности.

5. Полученные паттерны межмышечной координации могут служить основой для разработки критериев технической подготовленности гимнасток и целевого планирования тренировочных нагрузок, направленных на укрепление стабилизационных функций трехглавой мышцы плеча и снижение асимметрии координационных способностей рук.

#### Список литературы

1. Silva N. S., Almeida P. H. T. Q., Mendes P. V. B., Komino C. S. M., Novo Junior J. M., Cruz D. M. C. Electromyographic Activity of the Upper Limb in Three Hand Function Tests. *Hong Kong Journal of Occupational Therapy*. 2017; 29: 1 - 9. DOI: 10.1016/j.hkjot.2017.01.001.
2. Naider-Steinhart S., Katz-Leurer M. Analysis of proximal and distal muscle activity during handwriting tasks. *American Journal of Occupational Therapy*. 2007; 61 (4); 392 - 398. DOI: 10.5014/ajot.61.4.392.
3. Ridderikhoff A., Daffertshofer A., Peper C.E., Beek P.J. Mirrored EMG activity during unimanual rhythmic movements. *Neuroscience Letters*. 2005; 381 (3); 228 - 233. DOI: 10.1016/j.neulet.2005.02.041.
4. Джелдубаева Э. Р., Туманянц К. Н., Чуян Е. Н. Особенности биоэлектрической активности мышц кисти и предплечья у спортсменов ациклических видов спорта. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*. 2018; 2: 32 - 42.
5. De Luca C. J. The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*. 1997; 13 (2): 135 - 163. DOI: 10.1123/jab.13.2.135.

#### References

1. Silva N. S., Almeida P. H. T. Q., Mendes P. V. B., Komino C. S. M., Novo Junior J. M., Cruz D. M. C. Electromyographic Activity of the Upper Limb in Three Hand Function Tests. *Hong Kong Journal of Occupational Therapy*. 2017; 29: 1 - 9. DOI: 10.1016/j.hkjot.2017.01.001.
2. Naider-Steinhart S., Katz-Leurer M. Analysis of proximal and distal muscle activity during handwriting tasks. *American Journal of Occupational Therapy*. 2007; 61 (4); 392 - 398. DOI: 10.5014/ajot.61.4.392.
3. Ridderikhoff A., Daffertshofer A., Peper C.E., Beek P.J. Mirrored EMG activity during unimanual rhythmic movements. *Neuroscience Letters*. 2005; 381 (3); 228 - 233. DOI: 10.1016/j.neulet.2005.02.041.
4. Dzheldubaeva E. R., Tumanyants K. N., Chuyan E. N. Features of bioelectrical activity of the hand and forearm muscles in athletes of acyclic sports. *Uchenye zapiski Krymskogo Federalnogo Universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*. 2018; 2: 32 - 42 [In Russ.].
5. De Luca C. J. The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*. 1997; 13 (2): 135 - 163. DOI: 10.1123/jab.13.2.135.

---

**Статья поступила в редакцию: 23.07.2026**

**Коновалова Лилия Александровна** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры теории и методики гимнастики, Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, 420010, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, территория Деревня Универсиады, здание 35, e-mail: liliyukonov@yandex.ru

**Поканинов Валерий Борисович** - заведующий кафедрой теории и методики футбола и хоккея, Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, 420010, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, территория Деревня Универсиады, здание 35, e-mail: valerapokaninov@yandex.ru

**Тимова Мария Александровна** – мастер спорта по художественной гимнастике, Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, 420010, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, территория Деревня Универсиады, здание 35, e-mail: beufly@mail.ru