

УДК [612.763+612.743]:796.83

DOI: 10.37482/2687-1491-Z041

**ВАРИАТИВНОСТЬ КООРДИНАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ  
ТЕХНИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЙ В БОКСЕ  
В УСЛОВИЯХ РАЗВИВАЮЩЕГОСЯ УТОМЛЕНИЯ**

*С.А. Моисеев\** ORCID: [0000-0003-3923-3285](https://orcid.org/0000-0003-3923-3285)

*А.М. Пухов\** ORCID: [0000-0002-8642-970X](https://orcid.org/0000-0002-8642-970X)

*Е.А. Михайлова\** ORCID: [0000-0003-3303-0989](https://orcid.org/0000-0003-3303-0989)

*А.Т. Гафарова\** ORCID: [0000-0003-1025-1500](https://orcid.org/0000-0003-1025-1500)

*Р.М. Городничев\** ORCID: [0000-0002-9575-9647](https://orcid.org/0000-0002-9575-9647)

\*Великолукская государственная академия физической культуры и спорта  
(Псковская обл., г. Великие Луки)

Одно из направлений исследований феномена вариативности движений нацелено на ее изучение при изменении внешних или внутренних условий выполнения двигательной задачи. Результаты таких исследований оказываются неоднозначными даже при анализе схожих по кинематической структуре движений. Целью исследования явилось изучение вариативности биоэлектрической активности скелетных мышц и пространственно-временных характеристик различных ударов в боксе в процессе развивающегося утомления. Обследованы 6 боксеров высокой спортивной квалификации разных весовых категорий. Анализировали показатели вариации величин электромиографической активности мышц, дистанции и скорости антропометрических точек сегментов тела, а также амплитуду движений в суставах в обычных условиях и после выполнения двигательной нагрузки аэробного характера. Установлена низкая вариативность амплитуды движений большинства исследуемых скелетных мышц как в обычных условиях, так и после выполнения двигательной нагрузки. При утомлении вариативность амплитуды движений практически всех мышц снижается. В обычных условиях амплитуда движений в плечевом, локтевом и тазобедренном суставах правой стороны тела оказалась более вариативной, чем в суставах левой. После двигательной нагрузки изменения вариативности угловых характеристик суставов при выполнении разных ударов оказались неодинаковы. Наиболее вариативны были изменения углов правой стороны тела, в особенности локтевого и тазобедренного суставов, при выполнении прямого удара. Менее всего под воздействием нагрузки изменялась амплитуда движений в локтевом и тазобедренном суставах левой стороны тела. Таким образом, изменения вариативности кинематических параметров, обусловленные активностью скелетных мышц, являются механизмом поддержания стабильности выполнения двигательной задачи. Вероятно, центральное управление сложнокоординационными

---

**Ответственный за переписку:** Моисеев Сергей Александрович, адрес: 182105, Псковская обл., г. Великие Луки, пл. Юбилейная, д. 4.; e-mail: [sergey\\_moiseev@vlgafc.ru](mailto:sergey_moiseev@vlgafc.ru)

**Для цитирования:** Моисеев С.А., Пухов А.М., Михайлова Е.А., Гафарова А.Т., Городничев Р.М. Вариативность координационной структуры технических действий в боксе в условиях развивающегося утомления // Журн. мед.-биол. исследований. 2021. Т. 9, № 1. С. 35–44. DOI: 10.37482/2687-1491-Z041

движениями боксеров при выполнении ударов осуществляется посредством образования кинематических и мышечных синергий. Для уточнения механизма образования и функционирования кинематических синергий и их вариативности необходимы дополнительные исследования.

**Ключевые слова:** вариативность, утомление, координационная структура двигательного действия, бокс, ЭМГ-активность скелетных мышц.

Изучение вариативности системы управления движениями как фундаментальной проблемы физиологии человека представляет определенный интерес, однако этот вопрос становится особенно актуальным при анализе спортивных движений, поскольку вариативность их характеристик может иметь непосредственное влияние на соревновательную результативность. При наличии большого количества исследований вариативности движений человека в различных сферах жизнедеятельности весьма скудны данные по ее изучению в области спорта высших достижений, особенно в тех видах, где требуется проявление большой силы и высокой координации движений, например в боксе. Одно из направлений исследований феномена вариативности движений нацелено на ее изучение при изменении внешних или внутренних условий выполнения двигательной задачи [1–4]. При этом наблюдается увеличение вариативности одних показателей и уменьшение вариативности других, причем даже при исследовании движений, схожих по кинематической структуре, данные о вариативности показателей оказываются неоднозначными [5–7]. Таким образом, вопрос вариативности различных показателей структуры спортивных движений при изменении внешних и внутренних условий их выполнения нуждается в дополнительных исследованиях. На наш взгляд, особое внимание следует обратить на изучение вариативности при утомлении, поскольку оно неизбежно наступает практически в любом виде спорта и, безусловно, влияет на эффективность выполнения двигательных задач. В связи с этим целью нашего исследования явилось изучение вариативности электромиографической активности скелетных мышц

и пространственно-временных характеристик технических приемов в боксе при изменении состояния функциональных систем организма спортсменов, а именно при утомлении.

**Материалы и методы.** Исследование проведено с участием 6 боксеров высокой спортивной квалификации разных весовых категорий. До двигательной нагрузки каждый спортсмен выполнял 3 серии ударов по 10 в каждой с интервалами отдыха между сериями до полного восстановления. Удары производились по боксерским лапам, удерживаемым оппонентом. Непосредственно после нагрузки регистрировали 10 ударов, выполняемых каждым спортсменом. В качестве двигательной нагрузки выступал бег на тредбане с постепенно возрастающей скоростью движения ленты – на 3 км/ч каждые 2 мин. Нагрузка выполнялась до произвольного отказа испытуемого либо при достижении частоты сердечного сокращения 200 уд./мин. Изучали электромиографические и пространственно-временные характеристики прямого удара, удара сбоку и удара снизу из левосторонней стойки левой рукой. В общей сложности проанализированы параметры 180 ударов, выполняемых до двигательной нагрузки, и 60 ударов после нагрузки.

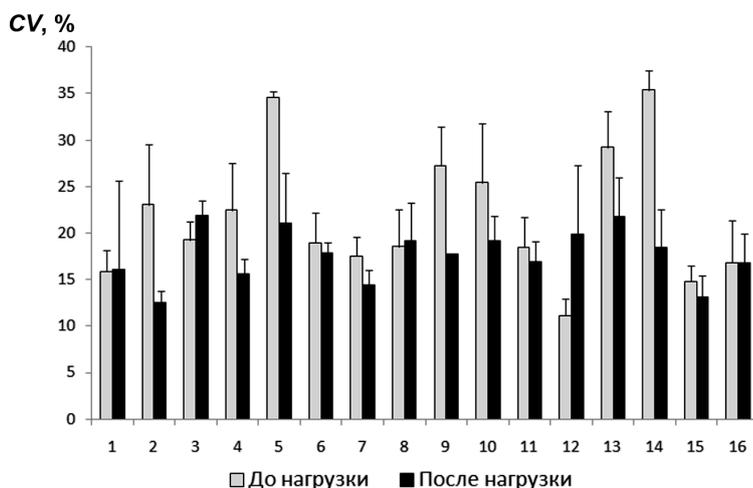
Во время выполнения ударов регистрировали электромиограммы (ЭМГ) 16 скелетных мышц, задействованных в большей степени, а именно тех, которые по результатам предварительных исследований проявляли наибольшую электроактивность. Синхронно с регистрацией ЭМГ осуществляли видеозахват движений. ЭМГ-активность скелетных мышц регистрировали 16-канальным биомонитором ME6000 (Финляндия). Видеорегистрацию технических дей-

ствий осуществляли посредством системы 3D-видеоанализа Qualisys (Швеция), частота кадров видеосъемки составляла 500 Гц. Светоотражающие маркеры размещали на антропометрических точках сегментов тела спортсмена, соответствующих центрам осей вращения в суставах.

Анализировали параметры технических действий, граничными моментами которых считали начало движения шиловидной антропометрической точки по сагиттальной оси и момент остановки движения данной точки (момент соприкосновения с целью). Рассматривали длительность выполнения движений, амплитуду движений в суставах, дистанцию и скорость перемещения антропометрических точек сегментов тела, среднюю амплитуду ЭМГ мышц туловища, верхних и нижних конечностей.

Статистическую обработку и анализ полученных данных выполняли с использованием Statistica 10. Анализировали показатели описательной и вариационной статистики для сгруппированных данных. В случае большого разброса внутригрупповых значений в анализ включали значения вариационного ряда, ограниченного верхним и нижним квартилями. Коэффициенты вариативности ( $CV$ ) в диапазоне от 0 до 30 % считали низкими, от 30 до 60 % – средними, от 60 до 100 % – высокими.

**Результаты.** При выполнении прямого удара под влиянием двигательной нагрузки установлено снижение вариативности средней амплитуды ЭМГ практически всех исследуемых скелетных мышц, за исключением верхних пучков правой трапециевидной мышцы и прямой мышцы живота левой стороны (рис. 1) – в этом случае наблюдалось значительное увеличение

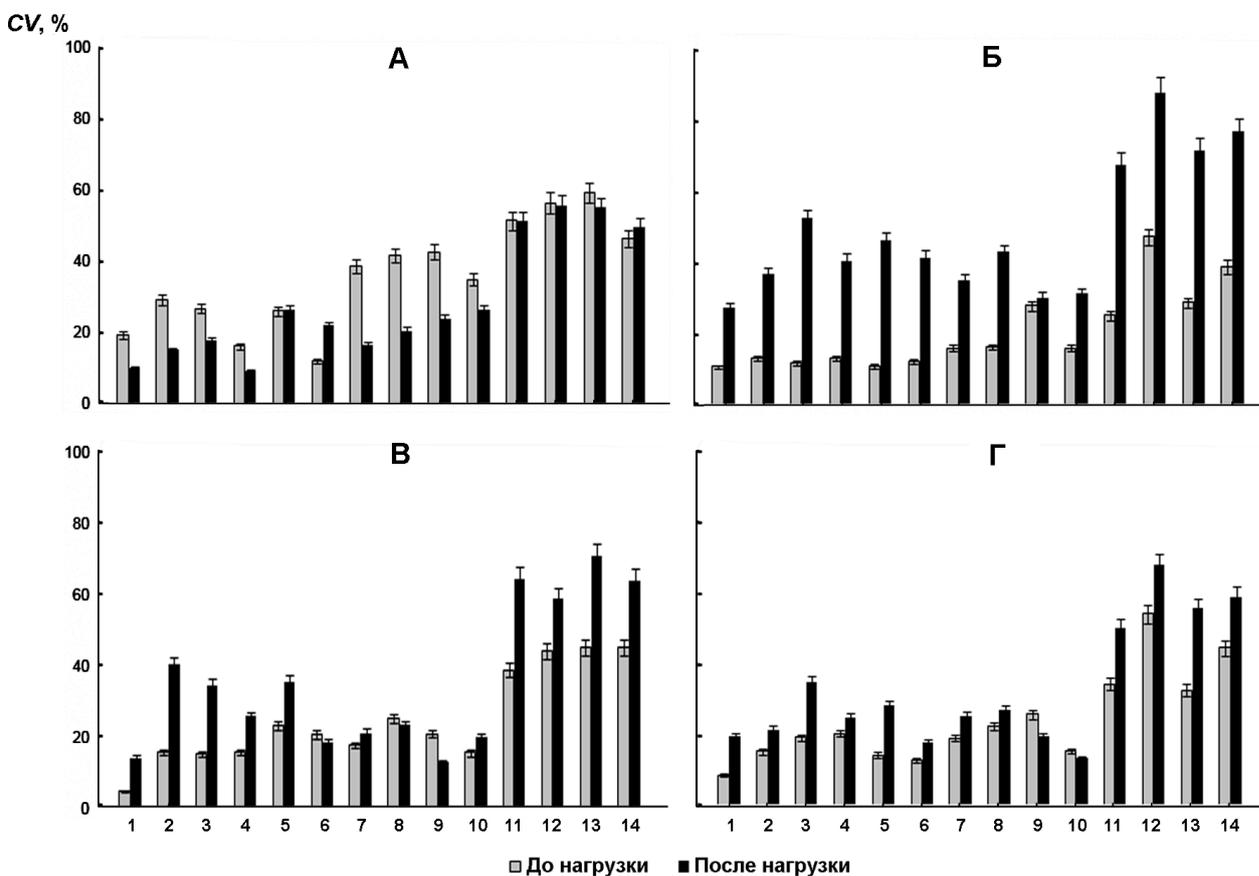


**Рис. 1.** Вариативность средней амплитуды ЭМГ скелетных мышц до и после двигательной нагрузки при выполнении прямого удара в боксе ( $M \pm m$ ): 1 – двуглавая плеча правая; 2 – трехглавая плеча правая; 3 – верхние пучки трапециевидной правой; 4 – передняя часть дельтовидной правой; 5 – двуглавая плеча левая; 6 – трехглавая плеча левая; 7 – верхние пучки трапециевидной левой; 8 – передняя часть дельтовидной левой; 9 – большая грудная правая; 10 – большая грудная левая; 11 – прямая живота правая; 12 – прямая живота левая; 13 – двуглавая бедра правая; 14 – прямая бедра правая; 15 – двуглавая бедра левая; 16 – прямая бедра левая

**Fig. 1.** Mean amplitude variability of skeletal muscle electromyograms before and after motor load when performing a direct punch in boxing ( $M \pm m$ )

коэффициентов вариативности. Следует отметить, что в большей степени было зарегистрировано снижение коэффициентов в отношении электроактивности двуглавой мышцы плеча левой руки ( $CV$  снизился с 34,59 до 21,11 %) и прямой мышцы бедра правой ноги – более чем на 18 %. Аналогичная картина изменений вариативности наблюдалась и при выполнении удара снизу. Вариативность средней амплитуды при выполнении бокового удара, наоборот, возросла в 10 исследуемых мышцах.

Вариативность длительности выполнения прямого удара и удара снизу существенно не менялась, а бокового – возросла до 32,72 %. Дистанция и скорость антропометрических точек сегментов тела варьировали неодинаково при выполнении разных технических приемов. Так, наибольший разброс этих показателей при выполнении прямого удара зарегистрирован в нижнеберцовых и конечных антропометрических точках как до нагрузки, так и после нее (рис. 2А, В).



**Рис. 2.** Вариативность дистанции и скорости антропометрических точек сегментов тела до и после двигательной нагрузки при выполнении технических приемов в боксе ( $M \pm m$ ): А – дистанция, прямой удар, В – дистанция, боковой удар, С – скорость, прямой удар, Д – скорость, боковой удар; 1 – плечевая правая, 2 – плечевая левая, 3 – лучевая правая, 4 – лучевая левая, 5 – шиловидная правая, 6 – шиловидная левая, 7 – вертельная правая, 8 – вертельная левая, 9 – верхнеберцовая правая, 10 – верхнеберцовая левая, 11 – нижнеберцовая правая, 12 – нижнеберцовая левая, 13 – конечная правая, 14 – конечная левая

**Fig. 2.** Distance and speed variability of anthropometric points of body segments before and after motor load when performing technical moves in boxing ( $M \pm m$ )

Под влиянием двигательной нагрузки вариативность дистанции точек нижних конечностей при выполнении прямого удара изменялась незначительно, наибольшие различия наблюдались в вертельных и верхнеберцовых точках (рис. 2А). Например, CV вертельной точки левой стороны после нагрузки снизился с 42,67 до 20,96 %. Вариативность дистанции всех антропометрических точек при выполнении бокового удара после нагрузки существенно возрастала и достигала в дистальных точках 80 % в среднем по группе (рис. 2Б).

Вариативность скорости перемещения точек верхних конечностей при прямом ударе в условиях утомления возрастала и достигала в некоторых точках 30 %, прирост вариативности также отмечен и для антропометрических точек стопы – в среднем на 20 % относительно данных до нагрузки (рис. 2В, Г). Аналогичные данные получены и при исследовании вариативности скорости бокового удара и удара снизу.

После двигательной нагрузки снижались среднегрупповые коэффициенты вариативно-

сти практически всех регистрируемых угловых перемещений при выполнении прямого удара. В меньшей степени изменения были зарегистрированы для левой стороны тела – здесь CV оставались практически на том же уровне, как до нагрузки. Следует отметить наибольшую стабильность амплитуды движений в суставах левой нижней конечности (табл. 1). Наиболее вариативны оказались углы правой стороны тела, в особенности локтевого и тазобедренного суставов, где CV достигали до нагрузки 92 %, а после нее – 61 %, тем не менее такая вариативность оценивается как средняя.

Обратная картина наблюдалась при боковом ударе. Так, после нагрузки амплитуда движений в суставах варьировала более существенно, чем до нее, за исключением углов левой нижней конечности (табл. 2, см. с. 40). Следует отметить высокие коэффициенты вариативности углов правой верхней конечности как до нагрузки, так и после ее выполнения.

При выполнении удара снизу регистрировалось уменьшение вариативности амплитуды движений коленного и голеностопного су-

Таблица 1

**ВЛИЯНИЕ АЭРОБНОЙ НАГРУЗКИ НА АМПЛИТУДУ ДВИЖЕНИЙ  
В СУСТАВАХ БОКСЕРОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРЯМОГО УДАРА  
EFFECT OF AEROBIC LOAD ON THE MOVEMENT AMPLITUDE  
IN BOXERS' JOINTS WHEN PERFORMING A DIRECT PUNCH**

Сустав	Амплитуда до нагрузки		Амплитуда после нагрузки	
	<i>M±m</i>	<i>CV</i>	<i>M±m</i>	<i>CV</i>
Плечевой правый	10,90±1,07	53,99	13,98±0,80	31,44
Локтевой правый	15,99±2,31	78,92	19,84±2,21	61,09
Тазобедренный правый	6,01±2,49	92,80	9,73±1,46	49,68
Коленный правый	13,82±0,75	29,71	18,93±0,90	25,96
Голеностопный правый	15,24±1,36	48,95	19,73±0,94	26,00
Плечевой левый	66,85±1,66	13,57	70,65±0,99	7,66
Локтевой левый	98,59±2,75	15,31	103,61±2,34	12,36
Тазобедренный левый	15,68±1,30	45,49	15,30±1,01	34,37
Коленный левый	19,03±0,71	20,25	26,71±1,02	20,90
Голеностопный левый	7,29±0,41	30,81	15,34±0,89	31,63

Таблица 2

**ВЛИЯНИЕ АЭРОБНОЙ НАГРУЗКИ НА АМПЛИТУДУ ДВИЖЕНИЙ  
В СУСТАВАХ БОКСЕРОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ БОКОВОГО УДАРА  
EFFECT OF AEROBIC LOAD ON THE MOVEMENT AMPLITUDE  
IN BOXERS' JOINTS WHEN PERFORMING A SIDEWAYS PUNCH**

Сустав	Амплитуда до нагрузки		Амплитуда после нагрузки	
	<i>M±m</i>	<i>CV</i>	<i>M±m</i>	<i>CV</i>
Плечевой правый	20,47±1,95	52,19	25,81±3,76	79,82
Локтевой правый	25,55±3,09	66,23	28,83±4,97	94,48
Тазобедренный правый	17,63±0,79	13,40	13,80±1,17	32,84
Коленный правый	24,96±1,84	40,46	24,76±1,58	34,84
Голеностопный правый	20,80±1,17	30,74	20,12±1,09	29,80
Плечевой левый	73,31±1,64	12,29	51,40±2,55	27,18
Локтевой левый	93,45±2,90	16,99	75,95±4,37	31,54
Тазобедренный левый	19,32±1,50	42,55	20,81±1,11	29,12
Коленный левый	35,08±1,37	21,41	31,32±1,42	24,89
Голеностопный левый	13,50±0,44	17,84	13,69±0,54	21,50

ставов правой ноги, а также голеностопного сустава левой ноги более чем на 10 %. Менее всего под воздействием нагрузки изменялась амплитуда движений в локтевом и тазобедренном суставах левой стороны тела.

**Обсуждение.** Проведенное исследование установило низкую вариативность амплитуды ЭМГ большинства исследуемых скелетных мышц как до выполнения двигательной нагрузки, так и после нее. Кроме того, выявлено, что при утомлении вариативность электроактивности практически всех мышц снижается. Низкая вариативность электроактивности мышц может свидетельствовать о высокой плотности результатов, полученных у разных испытуемых, а также может являться характерной чертой, указывающей на использование ЦНС программного механизма управления состоянием нервно-мышечного аппарата [8, 9]. Низкая вариативность также присуща движениям, управление которыми осуществляется с использованием механизма функциональных синергий [10, 11]. Логично, что при существовании такого множества степеней свободы

двигательного аппарата, особенно при выполнении спортивных движений, ЦНС стремится ограничить возможное их количество для повышения стабильности двигательного навыка. В этом случае подвижность сегментов тела ограничивается посредством возрастающей активности мышц, непосредственно участвующих в реализации движений сегмента, что отражается на их средней амплитуде ЭМГ. Сегменты, которые освобождены от такого влияния, проявляют меньшую электроактивность и характеризуются сравнительно высокой степенью вариативности. Также в процессе развивающегося утомления может происходить модификация моторных программ, посредством которых управляются различные компоненты координационной структуры спортивных движений, что, вероятно, и является причиной изменения вариативности ЭМГ-активности большинства исследуемых скелетных мышц.

Известно, что параметры внешней (биомеханической) структуры при выполнении хорошо отработанного движения менее вариативны, чем параметры внутренней, биоэлектрической

активности скелетных мышц, задействованных в его реализации [12]. Наше исследование показало, что биомеханическая структура изучаемых движений оказывается не менее вариативна, однако имеются отличительные особенности. Так, коэффициенты вариативности дистанции и скорости перемещения нижеберцовых и конечных точек обеих нижних конечностей оказались существенно выше, чем у других сегментов тела. Данная закономерность выявлена при выполнении всех исследуемых ударов, а также во всех экспериментальных условиях. Литературные данные указывают на наличие закономерности, заключающейся в снижении вариативности электрической активности скелетных мышц при увеличении преодолеваемого сопротивления, а также скорости перемещения тела и его звеньев [13]. Рассмотрим с этой позиции закономерности, выявленные в нашем исследовании. Установлено, что при развитии утомления вариативность перемещения шиловидной точки левой руки, а также вертельных и верхнеберцовых точек снижается при выполнении прямого удара. Однако достоверное возрастание скорости наблюдалось только в вертельных точках, а в других изменения оказались несущественными. Анализ связи изменений скорости перемещения сегментов тела и величин вариативности при выполнении бокового удара и удара снизу показал достоверное снижение скорости лучевой и шиловидной точек левой руки, а коэффициенты вариативности в данных точках возрастали при утомлении. В других сегментах такой зависимости не наблюдалось. Таким образом, закономерность, заключающаяся в снижении вариативности с увеличением скорости перемещения сегментов тела, была установлена только в двух антропометрических точках при выполнении ударов сбоку и снизу.

Нами показано, что амплитуда движений в плечевом, локтевом и тазобедренном суставах правой стороны тела оказалась более вариативной, чем в суставах левой. Установленная закономерность наблюдалась как при утомле-

нии, так и в неутомленном состоянии, а в процессе развивающегося утомления изменения вариативности угловых характеристик при выполнении разных ударов оказались неодинаковыми. Тем не менее сохранялась тенденция к снижению вариативности (либо сохранению ее на прежнем уровне) наиболее значимых для эффективного выполнения двигательной задачи сегментов. Существует мнение о том, что основные фазы и элементы двигательных действий обладают меньшей вариативностью, чем «вспомогательные» [2, 9, 14]. Логично предположить, что в отношении сегментов тела, играющих ведущую роль при выполнении движения, ЦНС будет стремиться ограничить возможный диапазон вариативности их параметров, чтобы повысить степень надежности двигательного навыка. Причем такой механизм оказывается действенным и при изменении функционального состояния организма спортсмена, т. е. при утомлении. В отношении же сегментов тела, которые выполняют «вспомогательную» функцию (в нашем случае это сегменты правой стороны тела), ЦНС допускает большую вариативность. Таким образом, снижение вариативности кинематических параметров, обусловленных активностью скелетных мышц, является механизмом поддержания высокой стабильности выполнения двигательной задачи. На наш взгляд, не исключается также возможность центрального управления движениями спортсмена при выполнении ударов посредством образования кинематических синергий, под которыми понимается координированное изменение суставных углов и других биомеханических характеристик различных сегментов тела [7, 8, 11]. Однако механизм образования и функционирования кинематических синергий и их вариативности при выполнении многосуставных, сложных спортивных движений изучен недостаточно и нуждается в дополнительных исследованиях.

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

## Список литературы

1. Грибанов А.В., Шерстенникова А.К. Физиологические механизмы регуляции постурального баланса человека (обзор) // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. 2013. № 4. С. 20–29.
2. Моисеев С.А., Михайлова Е.А., Пискунов И.В., Бобкова Е.Н., Дубинин Г.В., Городничев Р.М. Особенности организации процессов управления скелетными мышцами человека при локомоциях различной интенсивности // Уч. зап. Крым. федер. ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2019. Т. 5(71), № 4. С. 79–90.
3. Gates D.H., Dingwell J.B. The Effects of Muscle Fatigue and Movement Height on Movement Stability and Variability // Exp. Brain Res. 2011. Vol. 209, № 4. P. 525–536. DOI: [10.1007/s00221-011-2580-8](https://doi.org/10.1007/s00221-011-2580-8)
4. Mendes P.C., Fuentes J.P., Mendes R., Martins F.M.L., Clemente F.M., Couceiro M.S. The Variability of the Serve Toss in Tennis Under the Influence of Artificial Crosswind // J. Sports Sci. Med. 2013. Vol. 12, № 2. P. 309–315.
5. Hanley B., Tucker C.B. Gait Variability and Symmetry Remain Consistent During High-Intensity 10,000 m Treadmill Running // J. Biomech. 2018. Vol. 79. P. 129–134. DOI: [10.1016/j.jbiomech.2018.08.008](https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.08.008)
6. Busquets A., Marina M., Davids K., Angulo-Barroso R. Differing Roles of Functional Movement Variability as Experience Increases in Gymnastics // J. Sports Sci. Med. 2016. Vol. 15, № 2. P. 268–276.
7. Hashizume S., Hobara H., Kobayashi Y., Tada M., Mochimaru M. Inter-Individual Variability in the Joint Negative Work During Running // Sports Med. Int. Open. 2018. Vol. 2, № 5. P. E157–E162. DOI: [10.1055/a-0669-0885](https://doi.org/10.1055/a-0669-0885)
8. Newell K.M., Corcos D.M. Variability and Motor Control. Champaign, 1993. 510 p.
9. Латаш М.Л. Структурированная вариативность как отличительный признак биологических процессов // Вопр. психологии. 2016. № 3. С. 120–126.
10. Inouye J.M., Valero-Cuevas F.J. Muscle Synergies Heavily Influence the Neural Control of Arm Endpoint Stiffness and Energy Consumption // PLoS Comput. Biol. 2016. Vol. 12, № 2. Art. № e1004737. DOI: [10.1371/journal.pcbi.1004737](https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004737)
11. Моисеев С.А., Пухов А.М. Роль функциональных синергий в управлении пространственно-временной структурой точностных движений человека (на примере стрельбы из лука) // Журн. мед.-биол. исследований. 2019. Т. 7, № 4. С. 410–419. DOI: [10.17238/issn2542-1298.2019.7.4.410](https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2019.7.4.410)
12. Зимкин Н.В. О вариативности некоторых параметров взаимосвязи деятельности мышц при стереотипных движениях // Физиол. журн. СССР им. И.М. Сеченова. 1969. № 5. С. 630.
13. Bańkosz Z., Winiarski S. Kinematic Parameters of Topspin Forehand in Table Tennis and Their Inter- and Intra-Individual Variability // J. Sports Sci. Med. 2020. Vol. 19. P. 138–148.
14. Schnitzler C., Seifert L., Chollet D. Variability of Coordination Parameters at 400-m Front Crawl Swimming Pace // J. Sports Sci. Med. 2009. Vol. 8. P. 203–210.

## References

1. Griбанov A.V., Sherstennikova A.K. Fiziologicheskie mekhanizmy regulyatsii postural'nogo balansa cheloveka (obzor) [Physiological Mechanisms of Human Postural Balance Regulation (Review)]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Mediko-biologicheskie nauki*, 2013, no. 4, pp. 20–29.
2. Moiseev S.A., Mikhaylova E.A., Piskunov I.V., Bobkova E.N., Dubinin G.V., Gorodnichev R.M. Osobennosti organizatsii protsessov upravleniya skeletnymi myshtsami cheloveka pri lokomotsiyakh razlichnoy intensivnosti [Organization of Processes of Human Skeletal Muscle Control at Locomotions of Varying Intensity]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*, 2019, vol. 5, no. 4, pp. 79–90.
3. Gates D.H., Dingwell J.B. The Effects of Muscle Fatigue and Movement Height on Movement Stability and Variability. *Exp. Brain Res.*, 2011, vol. 209, no. 4, pp. 525–536. DOI: [10.1007/s00221-011-2580-8](https://doi.org/10.1007/s00221-011-2580-8)
4. Mendes P.C., Fuentes J.P., Mendes R., Martins F.M.L., Clemente F.M., Couceiro M.S. The Variability of the Serve Toss in Tennis Under the Influence of Artificial Crosswind. *J. Sports Sci. Med.*, 2013, vol. 12, no. 2, pp. 309–315.

5. Hanley B., Tucker C.B. Gait Variability and Symmetry Remain Consistent During High-Intensity 10,000 m Treadmill Running. *J. Biomech.*, 2018, vol. 79, pp. 129–134. DOI: [10.1016/j.jbiomech.2018.08.008](https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.08.008)
6. Busquets A., Marina M., Davids K., Angulo-Barroso R. Differing Roles of Functional Movement Variability as Experience Increases in Gymnastics. *J. Sports Sci. Med.*, 2016, vol. 15, no. 2, pp. 268–276.
7. Hashizume S., Hobara H., Kobayashi Y., Tada M., Mochimaru M. Inter-Individual Variability in the Joint Negative Work During Running. *Sports Med. Int. Open*, 2018, vol. 2, no. 5, pp. E157–E162. DOI: [10.1055/a-0669-0885](https://doi.org/10.1055/a-0669-0885)
8. Newell K.M., Corcos D.M. *Variability and Motor Control*. Champaign, 1993. 510 p.
9. Latash M.L. Structured Variability as a Signature of Biological Processes. *Voprosy psikhologii*, 2016, no. 3, pp. 120–126.
10. Inouye J.M., Valero-Cuevas F.J. Muscle Synergies Heavily Influence the Neural Control of Arm Endpoint Stiffness and Energy Consumption. *PLoS Comput. Biol.*, 2016, vol. 12, no. 2. Art. no. e1004737. DOI: [10.1371/journal.pcbi.1004737](https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004737)
11. Moiseev S.A., Pukhov A.M. The Role of Functional Synergies in Managing the Space-Time Structure of Human Precision Movements (Exemplified by Target Archery). *J. Med. Biol. Res.*, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 410–419. DOI: [10.17238/issn2542-1298.2019.7.4.410](https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2019.7.4.410)
12. Zimkin N.V. O variativnosti nekotorykh parametrov vzaimosvyazi deyatelnosti myshts pri stereotipnykh dvizheniyakh [On the Variability of Some Parameters of Associated Muscle Activity During Stereotyped Movements]. *Fiziologicheskii zhurnal SSSR im. I.M. Sechenova*, 1969, no. 5, p. 630.
13. Bańkosz Z., Winiarski S. Kinematic Parameters of Topspin Forehand in Table Tennis and Their Inter- and Intra-Individual Variability. *J. Sports Sci. Med.*, 2020, vol. 19, no. 1, pp. 138–148.
14. Schnitzler C., Seifert L., Chollet D. Variability of Coordination Parameters at 400-m Front Crawl Swimming Pace. *J. Sports Sci. Med.*, 2009, vol. 8, no. 2, pp. 203–210.

DOI: 10.37482/2687-1491-Z041

**Sergey A. Moiseev\*** ORCID: [0000-0003-3923-3285](https://orcid.org/0000-0003-3923-3285)  
**Aleksandr M. Pukhov\*** ORCID: [0000-0002-8642-970X](https://orcid.org/0000-0002-8642-970X)  
**Ekaterina A. Mikhaylova\*** ORCID: [0000-0003-3303-0989](https://orcid.org/0000-0003-3303-0989)  
**Asiat T. Gafarova\*** ORCID: [0000-0003-1025-1500](https://orcid.org/0000-0003-1025-1500)  
**Ruslan M. Gorodnichev\*** ORCID: [0000-0002-9575-9647](https://orcid.org/0000-0002-9575-9647)

\*Velikiye Luki State Academy of Physical Education and Sports  
(Velikie Luki, Pskov Region, Russian Federation)

## VARIABILITY OF TECHNICAL ACTION COORDINATION STRUCTURE IN BOXING AT FATIGUE

One of the directions of research into movement variability studies is at changing external or internal conditions during motor task performance. The results of such investigations are ambivalent even when analysing movements with similar kinematic structure. The aim of the research was to study the variability of skeletal muscle bioelectric activity and space-time characteristics of various punches in boxing at fatigue. Six highly skilled boxers of different weight classes were involved. We analysed parameters of variation of muscle electromyographic activity, distance and speed of the anthropometric points of body segments, as well as joint movement amplitude under regular conditions and after an aerobic motor load. We found low amplitude variability in most of the skeletal muscles under study, both in regular conditions and after a motor load. At fatigue, amplitude variability of almost all muscles

decreased. Under regular conditions, the movement amplitude of the shoulder, elbow and hip joints on the body's right side was more varied than that in the joints on the left. After a motor load, changes in the variability of joint movement amplitude during the performance of different punches were dissimilar. The most variable were changes in the angles of the right side of the body, especially the elbow and hip joints, when performing a direct punch. The least changes under the load were observed in the movement amplitude of the elbow and hip joints on the left side. Thus, variability changes in kinematic parameters caused by skeletal muscle activity are a mechanism for maintaining stability of motor task performance. Presumably, the central neural control of complex coordination movements in boxers when performing punches is carried out through the formation of kinematic and muscle synergies. More research is needed to clarify the mechanism of formation and functioning of kinematic synergies and their variability.

**Keywords:** *variability, fatigue, coordination structure of motor action, boxing, electromyographic activity of skeletal muscles.*

Поступила 26.08.2020

Принята 11.01.2021

Received 26 August 2020

Accepted 11 January 2021

---

**Corresponding author:** Sergey Moiseev, *address:* pl. Yubileynaya 4, Velikie Luki, 182105, Pskovskaya obl., Russian Federation; *e-mail:* sergey\_moiseev@vlgafc.ru

**For citation:** Moiseev S.A., Pukhov A.M., Mikhaylova E.A., Gafarova A.T., Gorodnichev R.M. Variability of Technical Action Coordination Structure in Boxing at Fatigue. *Journal of Medical and Biological Research*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 35–44. DOI: 10.37482/2687-1491-Z041