

УДК 612.763:612.743

ОСОБЕННОСТИ КООРДИНАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ БЕГОВОГО ШАГА У СПРИНТЕРОВ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ СПОРТИВНОГО МАСТЕРСТВА В СОСТОЯНИИ УТОМЛЕНИЯ

© 2021 г. И. В. Пискунов^{1, *}, Р. М. Городничев¹, С. А. Моисеев¹

¹ФГБОУ ВО Великолукская государственная академия физической культуры и спорта, Великие Луки, Россия

*E-mail: ivan-acdc@rambler.ru

Поступила в редакцию 17.12.2020 г.

После доработки 24.12.2020 г.

Принята к публикации 24.12.2020 г.

У двадцати бегунов на короткие дистанции разной спортивной квалификации исследовали координационную структуру бегового шага по данным кинематики и электрической активности мышц в состоянии утомления при беге по прямой и виражу. Показано, что структура бегового шага зависит от уровня спортивного мастерства. У спортсменов высокой квалификации по сравнению с низкоквалифицированными бегунами при беге в состоянии утомления отмечались: более длительная электрическая активность рабочих мышц; рациональные изменения реципрокных отношений мышц-антагонистов бедра и голени; длительная фаза отталкивания при беге по прямой и виражу. Результаты исследования свидетельствуют о том, что под влиянием утомления происходит модификация координационной структуры бегового шага, отражающаяся в значительных изменениях его пространственно-временных параметров и характеристик электроактивности мышц.

Ключевые слова: электромиография, 3D-видеоанализ, координационная структура бегового шага, регуляция произвольных движений, утомление, спринтерский бег.

DOI: 10.31857/S0131164621030152

Функциональное состояние организма спортсменов и координационная структура выполняемых ими движений в тренировочных и соревновательных условиях не являются стабильными, а претерпевают различные изменения, связанные с необходимостью решения разнообразных двигательных задач [1]. Продолжительное выполнение двигательных действий сопровождается развитием утомления, проявления которого определяются характеристиками двигательной деятельности. Часть специалистов считает основной причиной утомления понижение работоспособности нервных клеток и, прежде всего, нейронов, располагающихся в коре головного мозга [2, 3]. Другие исследователи видят причину утомления в понижении работоспособности самих мышц [4, 5]. В настоящее время преобладает концепция, согласно которой не может быть единой причины утомления при разнообразной двигательной деятельности, и утверждается, что механизмы понижения мышечной работоспособности зависят от характера работы — координационной структуры двигательных действий, длительности и интенсивности их выполнения [6–8].

Основное внимание в работах по изучению физиологических механизмов утомления направлено на установление физиологических и биохимических процессов, первично ответственных за снижение работоспособности и развитие утомления, поэтому, как правило, на основании результатов исследования дается лишь оценка состояния разных функций и систем организма в ходе развивающегося утомления [9, 10]. В имеющейся литературе приводятся данные о координационной структуре бегового шага — рациональных пространственно-временных и силовых параметрах, необходимых для обеспечения бега с различной скоростью [11, 12], описаны сведения о некоторых характеристиках электрической активности мышц в быстром беге по прямой у спринтеров высокой квалификации [13–17]. Однако, до сих пор, остаются малоизученными вызываемые напряженной мышечной деятельностью изменения координационной структуры спортивных двигательных действий, которые могут приводить к состоянию утомления. Очевидно, что одним из методологических подходов при исследовании процессов мышечного утомления может быть изучение особенностей управления спортивными



Рис. 1. 3D-модель спортсмена при беге по прямой.

ми двигательными действиями при их длительном и интенсивном выполнении, т.е. в состоянии утомления. Результаты исследований в этом направлении могут не только способствовать получению новых знаний о механизмах утомления, но и раскрыть некоторые механизмы регуляции активности мышц при выполнении скоростной мышечной работы у спринтеров различного уровня спортивного мастерства. В связи с вышесказанным, цель работы состояла в изучении у бегунов на короткие дистанции разной спортивной квалификации координационной структуры бегового шага по данным кинематики и электрической активности при скоростном беге по прямой и выражу в состоянии утомления.

МЕТОДИКА

В экспериментах принимали участие 20 спортсменов в возрасте от 18 до 25 лет, специализирующиеся в беге на короткие дистанции, разной спортивной квалификации – от III взрослого разряда до кандидата в мастера спорта (КМС). Испытуемые были разделены на две группы по 10 чел. в каждой. Первую группу составили спринтеры III разряда, вторая группа состояла из спринтеров I разряда и КМС. В первой части экспериментов испытуемые выполняли бег по прямой и выражу с максимальной скоростью, по три попытки с интервалами отдыха между ними до полного восстановления. Во второй части исследования спринтеры чередовали быстрый и медленный бег по прямой без остановки до 5–7 повторений, затем в аналогичных условиях выполняли бег по выражу. В этом случае в процессе отдыха между повторениями испытуемые возвращались бегом на исходную позицию, скорость бега при этом выбиралась самими спортсменами. Наступление состояния утомления определяли по снижению скорости бега на 10% и внешним признакам [18]. Регистрировали кинематические (длительность,

дистанция, изменение суставного угла) и электромиографические (ЭМГ) (средняя амплитуда, частота биопотенциалов, длительность электроактивности, коэффициент реципрокности) параметры. Для регистрации параметров электрической активности мышц (ЭМГ) при выполнении бега использовали 16-канальный биомонитор “ME 6000” (Финляндия, 2008) с полосой пропускания частот от 10 до 10 КГц, оцифровку проводили с частотой 2000 Гц. В предварительной серии экспериментов регистрировали электрическую активность двадцати трех билатеральных скелетных мышц, которые предположительно могли обеспечить выполнение бега с максимальной скоростью с изменением направления движения [19]. Анализ зарегистрированной ЭМГ-активности позволил выявить семь ведущих мышц нижних конечностей, обеспечивающих быстрый бег. Биполярные поверхностные отводящие электроды располагали на ведущих мышцах левой ноги: *m. biceps femoris* – BF; *m. rectus femoris* – RF; *m. vastus medialis* – VM; *m. vastus lateralis* – VL; *m. soleus* – Sol; *m. gastrocnemius* – GM; *m. tibialis anterior* – TA.

Кинематические параметры бегового шага регистрировали с помощью системы 3D-анализа (Qualisys, Швеция). Светоотражающие маркеры размещали на антропометрических точках сегментов тела, а именно, на тазобедренном, коленном и голеностопном суставах. Камеры располагали по кругу на расстоянии, оптимальном для регистрации кинематических параметров. Таким образом, создавали 3D-модель спортсмена, позволяющую по кинематическим параметрам определить граничные моменты фаз двойного бегового шага (рис. 1).

Математико-статистическая обработка данных включала расчет среднего арифметического (M), ошибку среднего арифметического (m), коэффициент реципрокности. Коэффициент реципрокности мышц определяли как отношение ам-

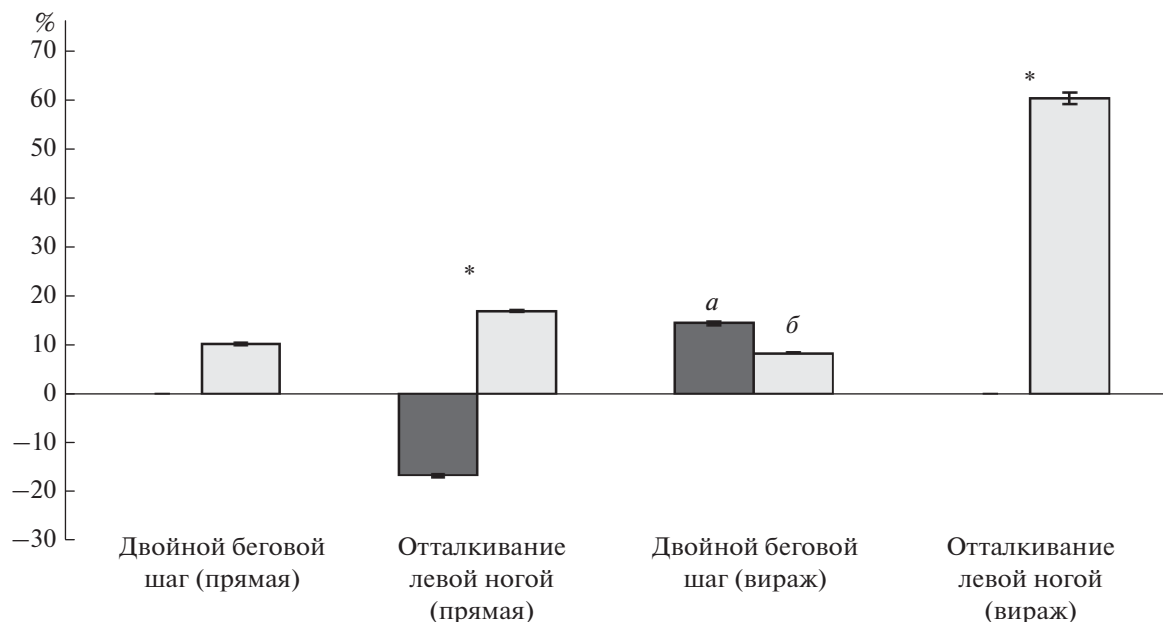


Рис. 2. Изменение временных параметров бегового шага в состоянии утомления при беге по прямой и виражу у спринтеров различной квалификации (%).

* – $p < 0.05$ – достоверность различий временных параметров между высококвалифицированными и низкоквалифицированными спринтерами; *a* – низкоквалифицированные спринтеры; *б* – высококвалифицированные спринтеры.

плитуды ЭМГ антагониста к амплитуде ЭМГ агониста и выражали в процентах. Достоверность различий определяли с помощью непараметрического критерия Вилкоксона для парных сравнений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Статистический анализ полученных результатов выявил существенную модификацию координационной структуры бегового шага под влиянием утомления, что проявлялось в значительных изменениях пространственно-временных характеристик и ЭМГ-параметров как при беге по прямой, так и при беге по виражу. Направленность и количественная выраженность этих изменений зависели от спортивной квалификации исследуемых спортсменов. В группе низкоквалифицированных бегунов длительность двойного бегового шага при беге по прямой в состоянии утомления не изменялась, но возросла на 14.3% в беге по виражу, у бегунов высокой квалификации этот показатель увеличивался при беге по прямой и по виражу на 10.1 и 8.2% соответственно ($p < 0.05$). Испытуемые сравниваемых групп имели значительные отличия в динамике продолжительности фазы отталкивания в беговом шаге с правой ноги на левую. У низкоквалифицированных спринтеров под влиянием утомления продолжительность данной фазы достоверно снижалась на 16.7% в беге по прямой, но не изменялась в условиях бега по виражу. В группе спринтеров высокой квалификации длительность фазы отталкивания суще-

ственно возрастала в состоянии утомления при беге как по прямой, так и виражу на 16.8 и 60.2% соответственно ($p < 0.05$) (рис. 2).

На рис. 3 представлены граничные моменты, позволяющие объективно разделить двойной беговой шаг на 8 фаз, и ЭМГ-активность семи исследуемых мышц левой ноги высококвалифицированного бегуна. Такие паттерны электрической активности рабочих мышц характерны в целом и для других бегунов высокой квалификации (рис. 3). Из рис. 3 видно, что мышцы, обеспечивающие движение в суставах нижних конечностей при повторном беге с максимальной скоростью, вступают в работу, снижают и прекращают свою активность в определенной последовательности через различные интервалы времени. Как следует из визуального анализа представленных на этом рисунке ЭМГ, амплитуда ЭМГ-активности и частота генерируемых потенциалов действия изменяется в различных фазах бегового шага.

Увеличение длительности бегового шага и фазы отталкивания у высококвалифицированных бегунов обуславливалось более продолжительной ЭМГ-активностью рабочих мышц при развитии утомления. Так, при беге по прямой в обычном состоянии время активности рабочих мышц в фазе отталкивания в среднем по группе составляло 31.1 мс, при утомлении – 37.9 мс, при беге по виражу – 22.4 и 31.7 мс соответственно.

В процессе развития утомления изменялась координационная структура угловых перемеще-

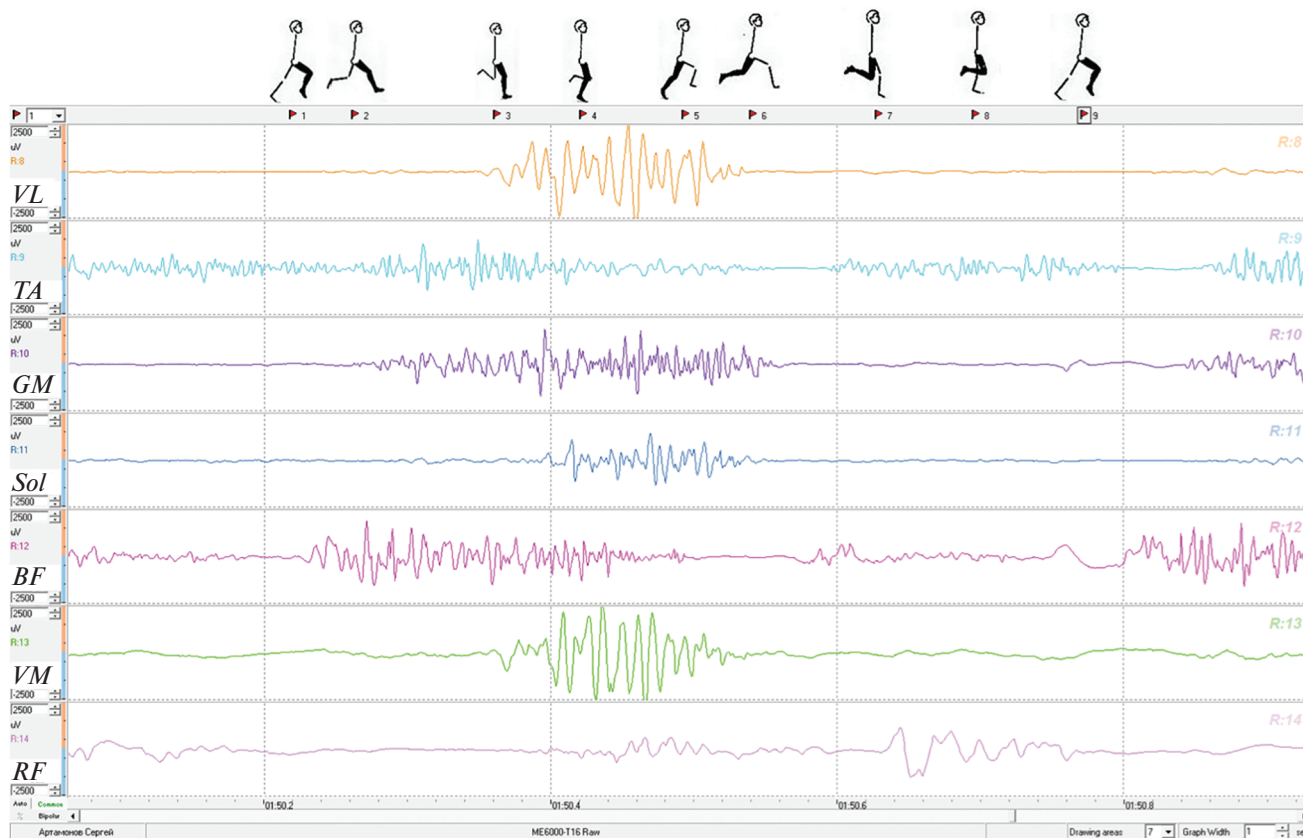


Рис. 3. Электромиограмма (ЭМГ) мышц левой ноги во время повторного бега с максимальной скоростью по виражу у спринтера высокой квалификации А.С.

Мышцы: *TA* – *m. tibialis anterior*; *GM* – *m. gastrocnemius*; *Sol* – *m. soleus*; *BF* – *m. biceps femoris*; *RF* – *m. rectus femoris*; *VM* – *m. vastus medialis*; *VL* – *m. vastus lateralis*. Граничные моменты: 1 – отрыв правой ноги от опоры; 2 – наибольший вынос стопы левой ноги; 3 – постановка левой ноги на опору; 4 – разгибание левой ноги в коленном суставе; 5 – отрыв левой ноги от опоры; 6 – наибольший вынос стопы правой ноги; 7 – постановка правой ноги на опору; 8 – разгибание правой ноги в коленном суставе; 9 – отрыв правой ноги от опоры.

ний в исследуемых суставах. Наиболее значимые изменения перемещений наблюдались в фазе отталкивания при обоих направлениях бега. У низкоквалифицированных бегунов в этой фазе состояния утомления сопровождалось достоверным уменьшением амплитуды разгибания в тазобедренном и коленном суставах и, наоборот, существенным увеличением амплитуды разгибания в голеностопном суставе при беге по прямой и виражу. В группе квалифицированных спринтеров при том и другом направлении бега амплитуда перемещений возрастала в коленном и голеностопном суставах, но в тазобедренном суставе при беге по прямой уменьшалась на 18.1% ($p < 0.05$).

Снижение амплитуды разгибания в тазобедренном суставе у низкоквалифицированных бегунов определялось достоверным уменьшением величины ЭМГ-активности *m. biceps femoris* с 163.6 ± 9.4 мкВ в обычном состоянии до 79.2 ± 3.5 мкВ при развитии утомления, а в коленном суставе – понижением активности *m. rectus femoris* с $123.1 \pm$

8.6 до 106.3 ± 6.4 мкВ соответственно. Амплитуда электроактивности других мышц варьировала практически в одинаковом диапазоне при каждом направлении бега у испытуемых обеих сравниваемых групп. Что касается увеличения разгибания в голеностопном суставе в состоянии утомления у бегунов низкой квалификации, регистрируемого при беге по прямой, то главной причиной этого факта являлось значительное возрастание амплитуды ЭМГ-активности *m. tibialis anterior* с 106.4 ± 7.7 до 241.2 ± 16.4 мкВ.

Координационная структура электрической активности рабочих мышц высококвалифицированных спринтеров в состоянии утомления имела более сложный характер и включала для обеспечения необходимой величины перемещений в исследуемых суставах не только механизм изменения амплитуды ЭМГ-активности, но и механизм преимущественного увеличения частоты потенциалов действия мышц при неизменной величине амплитуды их электроактивности. Так, увели-

Таблица 1. Влияние утомления на величину коэффициента реципрокности (%) в фазе отталкивания бегового шага у спринтеров разной квалификации при беге по прямой и виражу

Мышцы	Состояние	Направление бега	Спринтеры низкой квалификации	Спринтеры высокой квалификации
<i>GM/TA</i>	Обычное	Прямая	39.1 ± 2.4	44.1 ± 1.9
		Вирав	30.8 ± 3.2	213.0 ± 10.5**
	Утомление	Прямая	181.4 ± 5.6*	127.8 ± 4.6*
		Вирав	33.6 ± 2.7	185.8 ± 3.8**
<i>Sol/TA</i>	Обычное	Прямая	27.6 ± 1.8	69.3 ± 3.3
		Вирав	21.9 ± 0.9	421.2 ± 9.9**
	Утомление	Прямая	432.9 ± 11.7*	189.8 ± 8.3*,**
		Вирав	30.1 ± 2.1	391.2 ± 10.6**
<i>RF/BF</i>	Обычное	Прямая	141.4 ± 4.5	78.8 ± 4.4
		Вирав	140.6 ± 3.9	51.4 ± 3.1
	Утомление	Прямая	134.2 ± 6.1	57.3 ± 2.8
		Вирав	111.8 ± 4.2	37.1 ± 1.7

Примечания: *Sol* – *m. soleus*, *GM* – *m. gastrocnemius*, *TA* – *m. tibialis anterior*, *BF* – *m. biceps femoris*, *RF* – *m. rectus femoris*. * – достоверность различий значений, регистрируемых в обычном состоянии и при утомлении, $p < 0.05$. ** – достоверность различий коэффициента реципрокности между высококвалифицированными и низкоквалифицированными спринтерами, $p < 0.05$.

чение амплитуды разгибания в коленном суставе в состоянии утомления при беге по виражу достигалось повышением частоты потенциалов действия *m. vastus lateralis* с 46.4 ± 4 до 205.7 ± 19.8 Гц, хотя амплитуда ее ЭМГ-активности как в обычном состоянии, так и при утомлении варьировала в примерно одинаковом диапазоне от 48.1 до 63.6 мкВ. Аналогичная закономерность проявлялась и при перемещении стопы в голеностопном суставе, в этом случае частота электропотенциалов *m. tibialis anterior* возрастала с 224.3 ± 15.3 до 278.4 ± 11.5 Гц.

Важным установленным фактом, характеризующим модификацию регуляции мышечной активности в состоянии утомления у спортсменов разного уровня спортивного мастерства, является изменение координационных отношений мышц-антагонистов нижних конечностей в фазе отталкивания. Как следует из анализа данных, приведенных в табл. 1, у низкоквалифицированных бегунов в состоянии утомления при беге по прямой происходит достоверное увеличение коэффициента реципрокности исследуемых мышц-антагонистов голени (*GM/TA*; *Sol/TA*) и незначительное уменьшение этого показателя в мышцах-антагонистах бедра (*RF/BF*) (табл. 1).

Значительное повышение коэффициента реципрокности мышц-антагонистов голени достигалось преимущественно за счет снижения амплитуды ЭМГ-активности *m. gastrocnemius* и *m. soleus*. Так, амплитуда электроактивности *m. gastrocnemius* при беге по прямой снижалась с 272.3 ± 11.3 мкВ в обычном состоянии до 132.9 ± 7.9 мкВ при на-

ступлении утомления, а при беге по виражу – с 236.5 ± 12.3 до 190.7 ± 9.9 мкВ соответственно. Уменьшение коэффициента реципрокности в проксимальных мышцах-антагонистах (*RF/BF*) при наступлении утомления связано с преимущественным снижением амплитуды ЭМГ-активности *m. rectus femoris*, величина которой при беге по прямой в состоянии утомления снижалась на 13.9% по сравнению с этим показателем в обычном состоянии, а при беге по виражу на 26.7%. За регистрируемая в этих условиях амплитуда ЭМГ-активности *m. biceps femoris* изменялась незначительно.

Изменение координационных отношений проксимальных и дистальных мышц-антагонистов нижних конечностей в состоянии утомления у высококвалифицированных спринтеров имело несколько иной характер. В отличие от бегунов низкой квалификации, коэффициент реципрокности мышц-антагонистов голени возрастал при наступлении утомления только при беге по прямой, но снижался в беге по виражу (табл. 1). В мышцах-антагонистах бедра наблюдалось уменьшение коэффициента реципрокности как при беге по прямой, так и при беге по виражу. Так же, как и у испытуемых другой группы, увеличение коэффициента реципрокности при беге по прямой обуславливалось в основном уменьшением амплитуды ЭМГ-активности *m. gastrocnemius* и *m. soleus* (агонисты), а его уменьшение при беге по виражу – понижением активности *m. tibialis anterior*. Что касается понижения коэффициента реципрокности мышц-антагонистов бедра в состо-

янии утомления, то механизмом этого процесса являлось преимущественное уменьшение амплитуды ЭМГ-активности *m. rectus femoris*, которая при беге по прямой снижалась с 272.1 ± 11.3 до 119.0 ± 8.4 мкВ, тогда как в динамике активности *m. bicipitis femoris* наблюдалась лишь тенденция к незначительному снижению на 6.8 мкВ ($p > 0.05$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изменения кинематических и ЭМГ-параметров в состоянии утомления зависели от спортивной квалификации исследуемых спортсменов. В процессе утомления при скоростном беге по прямой и виражу изменялись угловые перемещения в суставах, снижалась амплитуда электроактивности мышц в опорном периоде как у низкоквалифицированных, так и у высококвалифицированных спринтеров. Наиболее значительные различия у бегунов сравниваемых групп отмечались в динамике координационных отношений мышц-антагонистов нижних конечностей при осуществлении фазы отталкивания. Если у низкоквалифицированных спринтеров в состоянии утомления наблюдалось увеличение коэффициента реципрокности мышц-антагонистов голени при беге в обоих направлениях, то у спортсменов высокой квалификации — только при беге по прямой, а при беге по виражу данный показатель, наоборот, снижался. К тому же, у высококвалифицированных спринтеров величина коэффициента реципрокности при беге по прямой увеличивалась существенно меньше по сравнению с низкоквалифицированными спортсменами.

Хорошо известно, что механизмы развития утомления во многом определяются характеристиками выполняемой мышечной работы: мощностью и длительностью физической нагрузки; координационной сложностью спортивных двигательных действий; адаптивными реакциями, возникающими при выполнении напряженной двигательной деятельности [7, 20]. При циклической работе максимальной мощности, к которой относится бег на короткие дистанции, энергосбережение работающих мышц осуществляется исключительно анаэробным путем. В этом случае ни одна из вегетативных функций не достигает возможного максимума, который мог бы обеспечить необходимую скорость доставки кислорода к работающим мышцам [21]. В таких условиях эффективность скоростной двигательной деятельности во многом определяется физиологическими резервами организма спортсмена, которые обеспечивают скоростно-силовую работу. К этим физиологическим резервам относятся: активация дополнительного количества двигательных единиц рабочих мышц; повышение частоты разрядов активированных двигательных единиц; степень одновременной активности отдельных двига-

тельных единиц; своевременное вытормаживание мышц-антагонистов; срочность проведения возбуждения через синапсы, локализованные в структуре моторной системы [9, 10]. Общеизвестно, что физиологические резервы организма, за счет которых достигается необходимый в каждом виде спорта уровень развития физических качеств (быстрота, сила, выносливость, координационные способности и гибкость), существенно больше у высококвалифицированных спортсменов [22]. Изложенные выше сведения свидетельствуют о том, что более совершенная координационная структура бегового шага у спринтеров высокой квалификации отражает мобилизационные возможности физиологических резервов скоростно-силовой работы, сформированные в процессе многолетних систематических тренировок. Такая закономерность и лежит в основе обнаруженного в собственных исследованиях факта об особенностях регуляции электрической активности мышц нижних конечностей и пространственно-временных характеристик бегового шага у спринтеров различной квалификации при скоростном беге по прямой и виражу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования было установлено, что координационная структура бегового шага в состоянии утомления зависит от спортивной квалификации спринтеров. Высококвалифицированные спортсмены характеризовались более рациональной координационной структурой бегового шага в сравнении с низкоквалифицированными бегунами, что проявлялось в более значительном увеличении длительности двойного бегового шага при беге по прямой и продолжительности фазы отталкивания при беге по прямой и виражу, более длительной ЭМГ-активности рабочих мышц, использовании механизма преимущественного увеличения частоты потенциалов действия при относительно неизменной величине амплитуды их электроактивности, рациональным изменением реципрокных отношений мышц-антагонистов бедра и голени в фазе отталкивания. Результаты исследования могут быть обоснованием для оптимизации технического совершенствования координационной структуры бегового шага у бегунов на короткие дистанции в процессе многолетней подготовки.

Этические нормы. Все эксперименты проведены с соблюдением требований и принципов биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и одобрены биоэтическим комитетом Великолукской государственной академии физической культуры и спорта (Великие Луки).

Информированное согласие. Каждый участник представил добровольное письменное информ-

рованное согласие на участие в исследованиях, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков, а также характера предстоящего исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнякова В.В., Бадтиева В.А., Конвай В.Д. Функциональная готовность спортсменов циклических видов спорта // Человек. Спорт. Медицина. 2020. Т. 20. № 1. С. 128.
2. Маслов Н.Б., Блощинский И.А., Максименко В.Н. Нейрофизиологическая картина генеза утомления, хронического утомления и переутомления человека-оператора // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 5. С. 123.
Maslov N.B., Bloschchinskii I.A., Maksimenko V.N. [Neurophysiological picture and genesis of fatigue, chronic fatigue, and overfatigue in the human operator] // Fiziol. Cheloveka. 2003. V. 29. № 5. P. 123.
3. Николлс Дж.Г. От нейрона к мозгу: перевод с английского. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 672 с.
4. Башкин В.М. Изменение быстроты мышечных сокращений в зависимости от выполненной тренировочной нагрузки // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта: научно-теоретический журнал. 2009. № 5(51). С. 10.
5. Marco G., Alberto B., Taian V. Surface EMG and muscle fatigue: multi-channel approaches to the study of myoelectric manifestations of muscle fatigue // Physiol. Meas. 2017. V. 38. № 5. P. 27.
6. Городничев Р.М., Андрианова Е.Ю., Скляр Н.А. Теоретические и практические аспекты спортивной борьбы: монография. Великие Луки: "Великолукская городская типография", 2008. 136 с.
7. Фудин Н.А., Хадарцев А.А., Орлов В.А. Медико-биологические технологии в физической культуре и спорте: монография / Под ред. Григорьевой А.И. М.: Спорт, Человек, 2018. 320 с.
8. Gandevia S.C. Spinal and Supraspinal factors in human muscle fatigue // Physiol. Rev. 2001. V. 81. № 4. P. 1725.
9. Мозжухин А.С., Давиденко Д.Н. Роль системы физиологических резервов спортсмена в его адаптации к физическим нагрузкам / Физиологические проблемы адаптации. Тарту: Минвуз СССР, 1984. С. 84.
10. Goodall S., Charlton K., Howatson G., Thomas K. Neuromuscular fatigability during repeated-sprint exercise in male athletes // Med. Sci. Sports Exerc. 2015. V. 47. № 3. P. 528.
11. Howard R.M., Conway R., Harrison A.J. Muscle activity in sprinting: a review // Sports Biomech. 2018. V. 17. № 1. P. 1.
12. Тюна В.В. Биомеханика бега. М.: ТВТ Дивизион, 2019. 290 с.
13. Козлов И.М. Электромиографическое исследование бега / Физиологическая характеристика высокой работоспособности спортсменов: сборник трудов институтов физической культуры. М.: Физкультура и спорт, 1966. С. 62.
14. Luginbuehl H., Naeff R., Zahnd A. et al. Pelvic floor muscle electromyography during different running speeds: an exploratory and reliability study // Arch. Gynecol. Obstet. 2016. V. 293. № 1. P. 117.
15. Cerrah A.Oh., Ertan H., Soyulu A.R. The use of electromyography in sports science // J. Physical Education Sports Sci. 2010. № 2. P. 43.
16. Collins B.W., Pearcey G.E.P., Buckle N.C.M. et al. Neuromuscular fatigue during repeated sprint exercise: underlying physiology and methodological considerations // Appl. Physiol. Nutr. Metab. 2018. V. 43. № 11. P. 1166.
17. Ланская О.В., Ланская Е.В., Пискунов И.В. Биоэлектрическая активность мышц при спринтерском беге // Символ науки: международный научный журнал. 2016. № 1. С. 22.
18. Илюшин О.В., Сунгатуллин А.Р. Утомление и переутомление, их признаки и меры предупреждения // Наука и образование: новое время. 2018. Т. 6. № 29. С. 31.
19. Пискунов И.В., Моисеев С.А., Городничев Р.М. Электромиографическое исследование регуляции произвольных быстрых циклических движений ног при спринтерском беге по прямой и виражу // Журнал медико-биологических исследований. 2017. Т. 5. № 2. С. 5.
20. Girard O., Mendez-Villanueva A., Bishop D. Repeated sprint ability – part I: factors contributing to fatigue // Sports Med. 2011. V. 41. № 8. P. 673.
21. Сейдахметов Е.Е. Изменение техники спринтерского бега под влиянием утомления // Актуальная наука. 2019. № 1(18). С. 109.
22. Платонов В.Н. Двигательные качества и физическая подготовка спортсменов: монография. М.: Спорт, 2019. 656 с.

Features of the Running Step Coordination Structure for Sprinters of Different Sports Qualifications in a State of Fatigue

I. V. Piskunov^{a,*}, R. M. Gorodnichev^a, S. A. Moiseev^a

^aVelikiye Luki State Academy of Physical Education and Sports, Velikiye Luki, Russia

*E-mail: ivan-acdc@rambler.ru

According to the data of kinematics and electrical activity of muscles in a state of fatigue when running in a straight line and in a bend there was studied the coordination structure of a running step of twenty short-distance runners of different sports qualifications. It is identified that the structure of the running step depends

on the level of sportsmanship. In comparison with low-skilled runners, when running in a state of fatigue, the athletes of high qualification were distinguished by: more prolonged electrical activity of working muscles; rational changes in the reciprocal relations of the thigh and lower leg antagonist muscles; a long repulsion phase when running in a straight line and in a bend. The results of the study indicate that under the influence of fatigue, the coordination structure of the running step is modified, which is reflected in significant changes in its spatio-temporal parameters and muscle electroactivity characteristics.

Keywords: electromyography, 3D-video analysis, running step coordinating structure, voluntary movement's regulation, fatigue, sprint running.