

УДК 57.043

АЭРОБНАЯ НАГРУЗКА КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ПОСТУРАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ БИАТЛОНИСТОВ

© 2019 г. В. А. Драугелите*

*ГКУ Центр спортивных инновационных технологий
и подготовки сборных команд Москомспорта, Москва, Россия*

**E-mail: draugelite@yandex.ru*

Поступила в редакцию 14.11.2017 г.

После доработки 27.06.2018 г.

Принята к публикации 01.11.2018 г.

В работе представлен анализ стабิโลграфических показателей 29 высококвалифицированных биатлонистов. Статистически значимые отличия показателей наблюдаются между исходными данными и всеми показателями на 1-ой и 3-ей мин восстановления после тестирования с постепенно повышающейся скоростью на беговой дорожке и не наблюдаются между исходными данными и данными качества функции равновесия (КФР) и скорости перемещения центра давления (ЦД) на 5-ой мин восстановления. Обнаружены статистически значимые отличия показателей аэробной работоспособности и скорости перемещения ЦД до нагрузки между спортсменами разного уровня (кандидаты в Мастера спорта (КМС) и Мастера спорта (МС)), однако в способности восстанавливать постральное равновесие после аэробной нагрузки у спортсменов разного уровня статистически значимых отличий не обнаружено.

Ключевые слова: стабิโลграфия, постральный контроль, равновесие тела, биатлон, аэробная нагрузка.

DOI: 10.1134/S0131164619030032

Цель данной работы – исследование эффектов физической усталости вследствие аэробной нагрузки на постральный контроль, а также определение минимального времени восстановления показателей постральной ориентации и пострального равновесия.

Постуральная ориентация и постральное равновесие являются отдельными сенсомоторными процессами, лежащими в основе пострального контроля. Обеспечение этих процессов возможно благодаря динамическому и контекстно-зависимому взаимодействию всех уровней нервной системы [1]. Последнее важно в рамках изучения эффектов усталости на контроль позы, т.к. физическая усталость вызывается комбинацией физиологических процессов, как на периферическом уровне, так и на центральном [2].

В литературе есть данные, что физическая нагрузка и вызванное ею физическое утомление негативно сказываются на показателях пострального контроля, однако до сих пор нет единого мнения о скорости восстановления показателей контроля позы после нагрузки. Одни авторы указывают, что после аэробной нагрузки восстановление показателей пострального контроля происходит в течение 10–15 мин, но другие исследо-

вания показывают, что хватает 6 мин для полного восстановления [3–5]. Известно, что нагрузка имеет достаточно непродолжительное негативное влияние на контроль позы [6].

Лучшее понимание влияния нагрузки позволит снизить риск получения травм, связанных с утомлением основных антигравитационных мышц во время занятий спортом [7].

Данное исследование является одной из первых попыток оценить эффекты утомления, вызванного аэробным тестированием для определения максимального потребления кислорода (МПК), на функцию контроля позы.

В качестве испытуемых были выбраны высококвалифицированные биатлонисты, так как биатлон – это один из немногих видов спорта, в котором предъявляются повышенные требования как к аэробной работоспособности (ее вклад в пределах 85–90%), так и к стрелковой подготовке [8, 9]. Известно, что чем выше уровень пострального контроля, тем выше качество стрельбы. Однако стрельба в биатлоне существенно отличается от других видов стрельбы, ведь ей предшествует предельная аэробная нагрузка [10].

С учетом этой специфики можно предположить, что физическое утомление, вызванное дли-

Таблица 1. Исходные данные тестирований с учетом квалификации, среднее арифметическое (*SD*)

Показатель	Нагрузочное тестирование				Стабилографическое тестирование		
	МПКотн	МПКабс	<i>V</i> _{max}	<i>V</i> на АнП	<i>V</i> , мм/с	<i>EllS</i> , мм ²	КФР, %
МС, <i>n</i> = 9	64.4(3.6)	4.6(0.5)	18.7(1.1)	15.3(0.9)	8.9(3.1)	54.5(22)	81(13)
КМС, <i>n</i> = 20	58(6)*	4.15(0.81)	17.2(1.5)*	14(0.95)*	11(3.5)*	60(21.4)	74(14)

Примечание: * – статистически значимые отличия от среднего при $p < 0.05$.

тельным бегом, отрицательно скажется на показателях пострального контроля, так как локомоция предъявляет повышенные энергетические требования к поддержанию пострального равновесия. Также можно считать, что данный эффект будет краткосрочным, а восстановление быстрым, т.к. система пострального контроля является гибкой и высоко адаптивной вследствие активации различных мышечных синергий.

МЕТОДИКА

Обследования проводили с 2016 по 2017 г. на базе ГКУ “ЦСТиСК” Москомспорта. В исследовании приняли участие 29 спортсменов-биатлонистов. Испытуемые являются спортсменами высокой спортивной квалификации: КМС ($n = 20$), МС ($n = 9$).

Все спортсмены были здоровы и не имели каких-либо травм нижних конечностей в течение последних 6 мес. Все участники данного исследования были ознакомлены с протоколом эксперимента и подписали утвержденную форму информационного согласия.

Для определения МПК и анаэробного порога (АнП) использовали тест с постепенно повышающейся скоростью на беговой дорожке “Woodway PRO XL”. Газоанализ проводили с помощью прибора *Metalyzer* (Германия).

Стабилографическое исследование проводили с использованием компьютерного стабилоанализатора “Стабилан-01-2” (ЗАО “ОКБ” “Ритм”, Россия). Для решения поставленных задач использовали “европейский” вариант постановки стоп испытуемого на платформу. Испытуемые проходили пробу “Мишень” до начала аэробного тестирования и после окончания на 1-ой, 3-ей и 5-ой мин восстановления. Длительность каждой записи – 20 с. Данный протокол выбрали исходя из анализа предыдущих исследований в данной области и решили не делать измерения непосредственно после нагрузки, т.к. эффект гипервентиляции на постральные показатели составляет 30% в первые 50 с после нагрузки, однако этот эффект уже незначителен через 60 с после упражнения [11]. Отсечку в 180 с после нагрузки выбрали в соответствии с фазами восстановления посту-

ральных настроек, выделенных в исследованиях *E. Zemkova et al.* Согласно исследованиям именно через 180 с после нагрузки начинает преобладать фаза восстановления, в которой ярче отражаются эффекты нарушения проприоцептивной чувствительности. Также показали, что полного восстановления постральной функции после высоко интенсивной нагрузки не наблюдается даже в конце 4-ой мин отдыха [12], поэтому решили проверить динамику восстановления на 5-ой мин после нагрузки. Для анализа использовали следующие стабилографические показатели колебаний центра масс: площадь (*EllS*, мм²) и скорость перемещения центра давления (*V*, мм/с) и качество функции равновесия (КФР, %) [13, 14].

Анализ данных проводили при помощи программы *Statistica 10*. Проверку выборки на характер распределения ее значений осуществляли с помощью критерия Колмогорова-Смирнова, статистическую значимость отличий выборки – с использованием *T*-критерия Вилкоксона для проверки различий между двумя выборками парных измерений и *U*-критерия Манна-Уитни – для оценки различий между двумя независимыми выборками и корреляционный анализ по Пирсону.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В табл. 1, 2 представлены данные о влиянии квалификации на контроль вертикальной позы до и после аэробной нагрузки в тесте с постепенно повышающейся скоростью на беговой дорожке.

Для определения статистически значимых различий показателей пострального равновесия у спортсменов разной квалификации было решено разбить имеющуюся группу на КМС и МС.

В табл. 1 представлены исходные данные стабилографического обследования и усредненные данные по показателям аэробной работоспособности.

Проанализировав данные, было замечено, что такие показатели как: относительное максимальное потребление кислорода (МПКотн), абсолютное максимальное потребление кислорода (МПКабс), скорость на МПК (*V*_{max}), скорость на анаэробном пороге (*V* на АнП), оценивающие аэробные способности, и скорость перемещения

Таблица 2. Стабилографические показатели после аэробной нагрузки с учетом квалификации, среднее арифметическое (*SD*)

Показатель	1-я мин восстановления			3-я мин восстановления			5-я мин восстановления		
	<i>V</i> , мм/с	<i>EllS</i> , мм ²	КФР, %	<i>V</i> , мм/с	<i>EllS</i> , мм ²	КФР, %	<i>V</i> , мм/с	<i>EllS</i> , мм ²	КФР, %
МС, <i>n</i> = 9	18.8(2)	146.5(57)	44(10)	15(2.6)	114(48)	59(10)	12(2.6)	79(31)	72(10)
КМС, <i>n</i> = 20	19.8(7)	159.5(108)	46(19)	15.7(5.1)	106(41)	59(17)	13.5(4.5)	75.6(36)	67(16)

Таблица 3. Стабилографические показатели пострурального контроля до и после нагрузочного тестирования, среднее арифметическое (*SD*)

Показатель	<i>V</i> , мм/с	<i>EllS</i> , мм ²	КФР, %
Исход	10.5(3.6)	58(22)	76(14)
1-я мин восстановления	19.66(6) ¹	155(98) ¹	45(17) ¹
3-я мин восстановления	15.6(4.6) ^{1, 2}	107(44) ^{1, 2}	59(16) ^{1, 2}
5-я мин восстановления	13(4) ^{1, 2}	77(35) ^{2, 3}	68(15) ²

Примечание: ¹ – статистически значимые отличия от среднего по группе с исходными данными до нагрузки при *p* < 0.05; ² – статистически значимые отличия от среднего по группе с данными после нагрузки на 1 мин восстановления при *p* < 0.05; ³ – статистически значимые отличия от среднего по группе с данными после нагрузки на 3 мин восстановления при *p* < 0.05.

ЦД до аэробного тестирования, имеют статистически значимые отличия у КМС и МС, что свидетельствует о влиянии уровня квалификации на исходные данные, как нагрузочного тестирования, так и стабилографического. Однако анализ данных не выявил статистически значимых отличий в процессе восстановления пострурального равновесия у представителей разной квалификации (табл. 2). Таким образом, способность восстанавливать поструральное равновесие после аэробной нагрузки у спортсменов уровня КМС и МС одинакова.

В табл. 3 представлены данные влияния аэробной нагрузки на поструральный контроль высококвалифицированных биатлонистов (КМС и МС) и процесс восстановления показателей пострурального равновесия в течение пяти минут после теста с постепенно повышающейся скоростью на беговой дорожке.

Проанализировав данные, было выявлено, что: КФР, оценивающий эффективность управления траекторией центра давления, и скорость перемещения ЦД, на пятой минуте восстановления не имеют статистически значимых отличий с исходными данными до нагрузки, что свидетельствует о восстановлении пострурального равновесия у биатлонистов после аэробной нагрузки в тесте с постепенно повышающейся скоростью на беговой дорожке.

Показатели КФР и скорости перемещения ЦД на третьей и пятой минуте восстановления не имеют статистически значимых отличий, но они

есть между показателями первой и третьей минут, что может свидетельствовать о том, что уже на третьей минуте начинается ускоренное восстановление показателей контроля позы.

Для определения статистической связи между показателями пострурального контроля и аэробного тестирования был проведен корреляционный анализ показателей пострурального контроля после нагрузки с данными теста с постепенно повышающейся скоростью на беговой дорожке.

Как видно из табл. 4, значения достоверных коэффициентов корреляций по Пирсону были больше 0.4 и меньше 0.6, т.е. имели слабую или среднюю силу связи между представленными параметрами. Все стабилографические показатели после нагрузки имеют корреляции с *V*_{тах}, при этом для скорости и площади ЦД корреляции положительные, а для КФР – отрицательные. Также наблюдаются корреляции стабилографических показателей на первой минуте восстановления с *V* на АНП, положительные для скорости и площади ЦД и отрицательные для КФР.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассматриваемые показатели пострурального контроля действительно ухудшаются после тестирования с постепенно повышающейся скоростью на беговой дорожке. Предыдущие авторы в основном указывали на то, что ухудшение связано со снижением эффективности обработки сенсорных входящих сигналов от мышечных вер-

Таблица 4. Корреляционный анализ¹ между показателями постурального контроля после нагрузки и аэробного тестирования

Показатель	1-я мин восстановления			3-я мин восстановления			5-я мин восстановления		
	<i>V</i> , мм/с	<i>EISS</i> , мм ²	КФР, %	<i>V</i> , мм/с	<i>EISS</i> , мм ²	КФР, %	<i>V</i> , мм/с	<i>EISS</i> , мм ²	КФР, %
<i>V</i> _{max}	0.5	0.5	-0.6	0.5	0.4	-0.5	0.5	0.4	-0.5
<i>V</i> на АнП	0.4	0.4	-0.5					0.4	

Примечание: ¹ – величины корреляций по Пирсону, все корреляционные связи достоверные.

тен, сухожильных органов Гольджи и др. рецепторных органов, а также с замедлением нервной передачи от α -мотонейронов к мышечным волокнам антигравитационных мышц нижних конечностей [3–6]. В результате физическое утомление проявляется во временной неспособности мышц генерировать оптимальную силу [15]. Следовательно, упражнения, которые задействуют крупные антигравитационные мышцы, например бег, могут приводить к снижению эффективности поддержания оптимальной траектории перемещения центра масс. Исследования также показывают, что в зависимости от условий окружающей среды и двигательных задач, в качестве постуральных мышц могут выступать практически любые мышцы, в том числе дыхательные [1, 16]. Частота дыхания повышается во время аэробной нагрузки, но в течение 2–3 мин возвращается к норме, следовательно, во время 1-ой попытки сокращения диафрагмы могут увеличивать скорость перемещения ЦД, однако во время 2-ой попытки они приходят в норму.

Почему же тогда восстановление показателей контроля позы не происходит в течение первых 3 мин после аэробного теста до отказа, однако в промежуток между 3-ей и 5-ой мин наблюдается активное восстановление?

Следует учитывать, что во время бега тело находится в постоянном состоянии падения, т.к. центр масс двигается вперед и латерально к опорной ноге и стремится выйти за пределы площади опоры. Центр масс находится в рамках границ опоры только тогда, когда обе ноги находятся в контакте с землей [1, 15, 17]. В этот момент центр масс находится в оптимальном положении по отношению к гравитационной вертикали, что энергетически является наиболее выгодным, но такого во время бега не происходит. Следовательно, во время быстрого бега может затрачиваться дополнительное количество энергии на поддержание вертикальной позы. Во время аэробного тестирования с постепенно повышающейся скоростью на беговой дорожке происходит утомление не только крупных антигравитационных мышц ног, но и утомление ряда других мышц, ко-

торые включены в мышечные синергии, участвующие в поддержании позы во время бега.

В зависимости от условий окружающей среды и биомеханических требований в качестве постуральных мышц могут выступать многие мышцы, что позволяет использовать различные мышечные синергии для контроля траектории перемещения центра масс, т.е. баланса, и автоматического постурального ответа. Каждая мышечная синергия определяет то, как конкретная мышца активируется вместе с другими мышцами, т.е. каждая мышца принадлежит к нескольким синергиям [1, 7, 18–20]. При совместной активации синергий нервная регуляция движений упрощается, обеспечивая гибкий и адаптивный ответ системы контроля позы на усталость и изменение биомеханических условий. Таким образом, наличие различных синергических комбинаций позволяет включать дополнительные мышцы для контроля позы даже при сильном утомлении [21–24]. Также отметим, что система контроля позы адаптируется постепенно к изменению биомеханических условий. Так, при беге на беговой дорожке поверхность опоры нестабильна, тогда как стабильная платформа неподвижна. Этот фактор может сказываться на показателях, т.к. человек, возможно, использует разные стратегии контроля позы на дорожке и платформе, переключаясь с использования “стратегии бедра” во время бега на неустойчивой поверхности на использование голенистой стратегии на устойчивой опоре и ему требуется больше попыток (около 8), чем предусмотрено нашим протоколом, поэтому в ходе 3 попыток спортсмен мог не успеть переключиться на оптимальную стратегию контроля позы.

ВЫВОДЫ

1. Чем выше *V*_{max} и *V* на АнП в аэробном тестировании, с постепенно повышающейся скоростью на беговой дорожке, тем выше скорость и площадь ЦД и ниже КФР, т.е. при большей *V*_{max} ухудшаются все показатели постурального контроля в течение пяти минут восстановления, а

при большей V на АНП — в течение минуты после окончания нагрузки.

2. Восстановление пострурального контроля у высококвалифицированных биатлонистов после аэробной нагрузки в тесте с постепенно повышающейся скоростью на беговой дорожке начинается на 3-ей мин и завершается на 5-ой мин.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным комитетом по биоэтике при Государственном казенном учреждении “Центр спортивных инновационных технологий и сборных команд” Москомспорта.

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Благодарности. За помощь в работе автор благодарит А.В. Козлова, С.А. Карцева, А.А. Голова, А.А. Даяла, А.М. Андрееву.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Principles of neural science / Eds. Jessell T., Siegelbaum S., Hudspeth A.J. N.Y.: McGraw-hill, 2000. V. 4. P. 1227.
- Nardone A., Tarantola J., Giordano A., Schieppati M. Fatigue effects on body balance // *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology / Electromyography and Motor Control*. 1997. V. 105. № 4. P. 309.
- Bove M., Faelli E., Tacchino A. et al. Postural control after a strenuous treadmill exercise // *Neuroscience letters*. 2007. V. 418. № 3. P. 276.
- Mello R.G.T., de Oliveira L.F., Nadal J. Effects of maximal oxygen uptake test and prolonged cycle ergometer exercise on the quiet standing control // *Gait & Posture*. 2010. V. 32. № 2. P. 220.
- Yaggie J., Armstrong W.J. Effects of lower extremity fatigue on indices of balance // *Journal of Sport Rehabilitation*. 2004. V. 13. № 4. P. 312.
- Fox Z.G., Mihalik J.P., Blackburn J.T. et al. Return of postural control to baseline after anaerobic and aerobic exercise protocols // *J. Athletic Training*. 2008. V. 43. № 5. P. 456.
- Ting L.H., Macpherson J.M. A limited set of muscle synergies for force control during a postural task // *J. Neurophysiology*. 2005. V. 93. № 1. P. 609.
- Иткис М.А. Специальная подготовка стрелка-спортсмена. М.: ДОСААФ, 1982. Т. 128. С. 15.
- Плохой В.Н. Подготовка юных лыжников-гонщиков: науч.-метод. пособие. М.: Спорт: Человек, 2016. 185 с.
- Buchecker M., Sattlecker G., Birklbauer J. Effects of fatigue on postural control strategies during biathlon shooting — a nonlinear approach // 6 International Congress on Science and Skiing, St. Christoph, a. Arlberg, Austria. 2013. P. 80.
- Zemková E., Hamar D. Postural Sway Response to Exercise: The Effect of Intensity and Duration // *International J. Applied Sports Sciences*. 2005. V. 17. № 1. P. 1.
- Zemkova E., Dzurenkova D. The role of active and passive rest in post-exercise postural sway readjustment // 11th International Conference of Sport Kinetics (Chalkidiki, Kallithea) 2009. P. 209.
- Кубряк О.В., Гроховский С.С. Практическая стабилметрия. Статические двигательльно-когнитивные тесты с биологической обратной связью по опорной реакции. М.: Маска, 2012. 88 с.
- Forte R., Boreham C.A., De Vito G. et al. Measures of static postural control moderate the association of strength and power with functional dynamic balance // *Aging Clinical and Experimental Research*. 2014. V. 26. № 6. P. 645.
- Hill M.W., Duncan M.J., Oxford S.W. et al. Effects of external loads on postural sway during quiet stance in adults aged 20–80 years // *Applied Ergonomics*. 2018. V. 66. P. 64.
- Иванов К.О., Кубряк О.В. Влияние ощущений от сердца и стабильности позы на точность стрельбы в представлении элитных стрелков // *Вестник спортивной науки*. 2011. № 5. С. 13.
- Cullen K.E. The vestibular system: multimodal integration and encoding of self-motion for motor control // *Trends in Neurosciences*. 2012. V. 35. № 3. P. 185.
- Brandt T. Man in motion: historical and clinical aspects of vestibular function // *Brain*. 1991. V. 114. № 5. P. 2159.
- Dietz V. Human neuronal control of automatic functional movements—interaction between central programs and afferent input // *Physiol Rev*. 1992. V. 72. № 1. P. 33.
- MacKinnon C.D., Winter D.A. Control of whole body balance in the frontal plane during human walking // *J. Biomechanics*. 1993. V. 26. № 6. P. 633.
- Maki B.E., Mcilroy W.E., Fernie G.R. Change-in-support reactions for balance recovery // *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*. 2003. V. 22. № 2. P. 20.
- Ting L.H., Macpherson J.M. A limited set of muscle synergies for force control during a postural task // *J. Neurophysiology*. 2005. V. 93. № 1. P. 609.
- Paillard T. Effects of general and local fatigue on postural control: a review // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2012. V. 36. № 1. P. 162.
- Paillard T. Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2017. V. 72. P. 129.

Aerobic Load as a Factor of Postural Control in Highly-Qualified Biathletes

V. A. Draugelite*

Moscow Center of Advanced Sports Technologies, Moscow, Russia

**E-mail: draugelite@ya.ru*

We performed a stabilographic analysis in 29 highly-qualified biathletes. For all studied parameters, we observed statistically significant differences between the baseline values and values on the 1st and 3rd minutes of recovery after incremental treadmill test; no differences were observed for the quality of equilibrium function (QEF) and speed of center of pressure (COP) between the baseline values and values on the 5th minute of recovery. Statistically significant differences in the parameters of aerobic capacity and COP speed before exercise were also observed between the athletes of different levels; however, the ability to recover postural balance after aerobic exercise was similar in these groups.

Keywords: stabilography, postural control, body balance, biathlon, aerobic load.