

РЕГУЛЯЦИЯ РАВНОВЕСИЯ У БОРЦОВ-САМБИСТОВ НА ФОНЕ ФИЗИЧЕСКОГО УТОМЛЕНИЯ ПОСЛЕ СУБМАКСИМАЛЬНОЙ ВЕЛОЭРГОМЕТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

А.А. САВИН, Л.В. ЕМЕЛЬЯНОВА, А.Д. ВИКУЛОВ, А.А. МЕЛЬНИКОВ,
Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского;
С.М. ВОРОНИН,
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Аннотация

Цель работы – исследовать эффекты физического утомления на регуляцию равновесия у спортсменов-борцов ($n = 31$). Регуляцию равновесия исследовали с помощью стабилографического комплекса «Ритм» (Россия) в положении стоя на двух ногах с открытыми (ОГ) и закрытыми глазами (ЗГ) до и через 2 мин после теста PWC_{170} . Установлено, что до нагрузки в стойке с ОГ борцы имели наименьшие различия по стабилографическим показателям относительно контроля ($n = 39$), а в условиях ЗГ линейная ($p < 0,01$) и угловая ($p < 0,05$) скорости колебания центра давления у борцов были ниже. Под влиянием утомления, вызванного тестом PWC_{170} , произошло увеличение показателей стабилографии при ОГ и ЗГ в обеих группах в одинаковой степени, что указывает на одинаковое снижение способности к регуляции равновесия. Таким образом, у борцов высокая способность поддерживать статическое равновесие, обусловленная более развитыми проприоцептивной и вестибулярной системами, сохраняется относительно повышенной и на фоне утомления.

Ключевые слова: равновесие, стабилография, спортсмены, утомление.

Abstract

The aim of study was to investigate static balance control in wrestlers ($n = 31$) and effects of fatigue on postural regulation. A force platform «Ritm» (Russia) was used to determine static balance control with eyes open (EO) and eyes closed (EC) prior to and 2 min after bicycle PWC_{170} test. We found a minimum difference in postural control between wrestlers and controls with EO prior to exercise. With EC linear ($p < 0,05$) and angular ($p < 0,01$) sway velocity were lower in wrestlers. After PWC_{170} all parameters of the centre of pressure sway increased in both groups with EO and EC conditions to an equal extent. Thus standard extent fatigue induced equal deteriorations of postural control in both groups. In conclusion, higher static postural performance in wrestlers mediated by better proprioceptive and vestibular sensation preserve higher level during fatigue also.

Key words: balance, stabilography, athletes, fatigue.

Введение

По сравнению с обычными условиями стояния и передвижения в пространстве условия борцовского поединка предъявляют повышенные требования к функции равновесия борцов. Это связано с постоянным и обоюдным взаимодействием спортсменов, стремлением вывести противника из равновесия и перевести его в положение лежа на спине. Следовательно, высокие способности к поддержанию равновесия тела в условиях противоборства являются важной составной частью успешного результата в борцовском поединке [6, 7, 10]. Под влиянием физической тренировки отмечается совершенствование систем, ответственных за поддержание равновесия [1, 7]. Занятия борьбой способствует росту уровня функции равновесия [7, 10]. Более того, сравнительный анализ показывает, что борцы обладают более совершенной способностью к статическому и динамическому равновесию по сравнению с неспортсменами и танцорами балета [6].

Функция равновесия может существенно нарушаться под влиянием локального мышечного утомления [2, 3]. В работе [11] показано, что регуляция позы ухудшается под влиянием предельной как аэробной, так и анаэробной

физической нагрузки. Вместе с тем, как влияет физическое утомление, вызванное стандартной субмаксимальной физической нагрузкой, на поддержание статического равновесия у борцов – полностью не исследовано. Таким образом, целью нашей работы было изучить особенности функции равновесия у высококвалифицированных борцов в норме и на фоне острого физического утомления.

Организация и методы исследования

Участники. Исследование выполнено на борцах-самбистах с квалификацией I разряд – мастер спорта РФ ($n = 31$). Средний возраст спортсменов составил $23,1 \pm 3,9$ года. Стаж занятий борьбой самбо – 12 ± 5 лет. Недельная нагрузка за последний месяц была в среднем $14,3 \pm 5,5$ ч. Контрольную группу составили здоровые студенты, не занимающиеся никаким видом спорта (возраст $20,3 \pm 2,3$ года, $n = 39$).

Оценки регуляции равновесия. Функцию поддержания равновесия в статическом положении исследовали на стабилографическом аппаратно-программном комплексе «Стабилан-1-02» (ЗАО «ОКБ «Ритм»», Россия) с помощью анализа колебаний центра давления (ЦД).

Стабилографический тест проводили дважды: до и через 2 мин после субмаксимальной велоэргометрической нагрузки – теста PWC₁₇₀. Во время теста испытуемый стоял на стабилоплатформе с открытыми (52 с) и затем закрытыми (52 с) глазами в основной стойке на двух ногах без обуви, руки расположены вдоль туловища. Положение ступней было стандартным: пятки вместе, носки врозь (угол 30°). Во время пробы с открытыми глазами (ОГ) испытуемый выполнял устный счет кругов белого цвета на мониторе компьютера. Во время пробы с закрытыми глазами (ЗГ) испытуемый считал звуки. В течение стабилографических тестов определяли среднюю ЧСС («Polar S810», Финляндия).

Для анализа функции равновесия использовали следующие стабилографические показатели колебаний ЦД:

Qф, мм – среднее квадратическое отклонение ЦД во фронтальной плоскости относительно смещения; Qс, мм – среднее квадратическое отклонение ЦД в сагиттальной плоскости относительно смещения; EllS, кв. мм – площадь доверительного эллипса статокинезиграммы; ЛСС, мм/с – средняя линейная скорость; ЛССф, мм/с – средняя линейная скорость по фронтали; ЛССс, мм/с – средняя линейная скорость по сагиттали; УСС, град./с – средняя угловая скорость – средняя скорость изменения направления векторов скорости движения ЦД.

Тест PWC₁₇₀. Испытуемые выполняли ступенчатую возрастающую нагрузку на велоэргометре «Kettler FX1» до достижения ЧСС, превышающей в конце ступени 170 уд./мин. ЧСС во время работы (на 59–60 секундах каждой ступени) фиксировали с помощью пульсометра «Polar S810». Нагрузка первой ступени составила 50 Вт (длительность – 3 мин) и увеличивалась на 30 Вт на последующих ступенях (длительность – 1 мин). После физической нагрузки интервал отдыха от окончания нагрузки до начала стабилографического теста был одинаковым и составлял 2 мин. Фиксировали ЧСС после нагрузки на 30, 60 и 120 секундах восстановления (ЧСС30', ЧСС60', ЧСС120' соответственно), а также среднюю ЧСС в стабилографическом тесте после нагрузки (ЧССстабПН).

Статистика. Результаты представлены как средняя арифметическая выборки (M) ± среднее квадратическое отклонение (s). Достоверность различий между группами спортсменов и контроля определяли с помощью критерия Стьюдента для непарных данных. Достоверность изменения показателей в группах после теста PWC₁₇₀ определяли с помощью критерия Стьюдента для парных данных. Различия в показателях функции равновесия в группах под влиянием утомления, вызванного тестом PWC₁₇₀, определяли с помощью однофакторного анализа для повторных измерений. При p < 0,05 различия считали статистически значимыми. Гипотезу о взаимосвязи данных проверяли с помощью линейной корреляции Пирсона (r). Использован пакет статпрограмм «Statistica v6.0».

Результаты и их обсуждение

Функция равновесия у борцов в норме. Влияние зрительной информации. Анализ стабилографических показателей при выполнении теста до нагрузки показывает (табл. 1), что борцы практически не отличались от контроля при наличии зрительной информации. Все основные интегральные показатели колебания ЦД не отличались между группами в пробе с ОГ: Qф, EllS, ЛСС в обеих плоскостях. Исключение составили: среднее отклонение ЦД в сагиттальной плоскости и средняя угловая скорость; они были ниже у спортсменов (p < 0,05 и p < 0,01 соответственно), что указывает на несколько повышенную способность удерживать равновесия у борцов. В целом эти результаты позволяют сказать, что борцы в обычной стойке с ОГ существенно не отличаются от контроля по функции поддержания равновесия. Вероятно, невыраженные различия по большинству показателей стабилографии связаны с простотой и неспецифичностью теста и невысокой нагрузкой к системам поддержания равновесия в таких условиях. Известно, что система поддержания равновесия способна компенсировать «слабость» какого-либо одного звена или подсистемы и обеспечивать достаточно эффективную регуляцию вертикальной позы в обычных несложных условиях [4].

Таблица 1

Стабилографические показатели у борцов в условиях спокойного стояния в основной стойке с открытыми (ОГ) и закрытыми (ЗГ) глазами до и после нагрузки (ПН) – теста PWC₁₇₀ (M±s)

Показатели	Контроль, n = 40			Борцы, n = 31			ANOVA, p
	ОГ	ЗГ	p1	ОГ	ЗГ	p1	
Qф, мм	2,92±1,19	3,76±1,55	0,001	2,64±0,85	3,09±0,95*	0,002	
Qф, мм (ПН)	3,70±2,46	4,24±2,08	0,001	2,88±1,13^	3,37±1,05*	0,001	
p2	0,025						
Qс, мм	3,64±1,13	4,74±1,72	0,001	3,06±0,92*	4,05±1,29^	0,001	
Qс, мм (ПН)	4,24±2,35	5,75±2,45	0,001	3,41±1,46^	5,07±2,04	0,001	
p2		0,025			0,01		
EllS, кв. мм	149,8±95,9	256,7±154,9	0,001	116,0±61,8	185,7±110,1*	0,001	
EllS, кв. мм (ПН)	271,6±449,0	379,8±397,9	0,001	152,7±116,2	258,1±146,8	0,001	
p2	0,095	0,046		0,043	0,005		
ЛСС, мм/с	9,26±2,84	15,73±6,59	0,001	8,24±2,36	12,37±4,10*	0,001	0,015
ЛСС, мм/с (ПН)	12,51±4,68	17,87±5,75	0,001	11,13±1,93	14,99±3,53*	0,001	0,044

Показатели	Контроль, n = 40			Борцы, n = 31			ANOVA, P
	ОГ	ЗГ	p1	ОГ	ЗГ	p1	
p2	0,001	0,007		0,001	0,001		
УСС, град./с	31,07±7,86	27,01±7,13	0,001	23,54±8,05**	21,72±7,78**	0,001	0,003
УСС, град./с (ПН)	31,59±10,39	28,95±9,98	0,001	27,95±9,17	25,55±8,99	0,001	
p2				0,001	0,006		
ЛС/УС, мм/град.	0,38±0,16	0,65±0,31	0,001	0,32±0,15	0,61±0,27	0,001	
ЛС/УС, мм/град. (ПН)	0,42±0,17	0,66±0,23	0,001	0,44±0,17	0,68±0,33	0,001	
p2	0,001			0,015			
ЛССф, мм/с	4,99±1,57	8,49±3,35	0,001	4,49±1,34	6,55±2,39**	0,001	0,006
ЛССф, мм/с (ПН)	6,34±2,11	9,59±2,64	0,001	5,86±1,33	8,10±2,07*	0,001	0,023
p2	0,001	0,017		0,001	0,001		
ЛССс, мм/с	6,71±2,20	11,38±5,31	0,001	5,93±1,91	9,10±3,11*	0,001	0,051
ЛССс, мм/с (ПН)	9,40±4,02	12,98±4,90	0,001	8,17±1,43	10,85±2,71*	0,001	
p2	0,001	0,012		0,001	0,002		

Примечания: ^, *, ** – $p < 0,9; 0,5; 0,01$ – значимость различий по сравнению с группой «Контроль»;

p1 – значимость различий показателей ОГ по сравнению с ЗГ;

p2 – значимость различий показателей между тестом до нагрузки и после нагрузки PWC_{170} ;

ANOVA, p – значимость различий в изменении показателей ЗГ относительно ОГ между группами «Контроль» и «Борцы».

В условиях стойки с ЗГ в обеих группах произошло увеличение площади доверительного эллипса статокенинезиграммы ($p < 0,002$ для обеих групп), отклонений колебаний ЦД в обеих плоскостях ($p < 0,001$ для обеих групп), увеличение средних линейных скоростей в обеих плоскостях ($p < 0,001$). Эти данные говорят, что с удалением зрительной информации происходит некоторое снижение функции регуляции позы, как следствие –

происходит увеличение скорости и площади колебаний ЦД. Схожие результаты на различных испытуемых, в том числе спортсменах-борцах [6, 7] и гимнастах [1], установлены и описаны ранее в литературе.

Интересно отметить, что в условиях ЗГ относительно условий ОГ при увеличении линейной скорости ($p < 0,001$) (рис. 1) угловая скорость снижалась в обеих группах (рис. 1, $p < 0,001$). При этом отношение линейной к угловой скорости резко увеличивалось. Принципиально считается, что чем выше скорость колебания ЦД, тем ниже возможности систем регуляции равновесия [1, 2, 3, 6]. Следовательно, снижение угловой скорости в более сложных (ЗГ) условиях поддержания равновесия кажется нелогичным. Данный результат можно объяснить тем, что линейная и угловая скорости могут отражать вклад двух стратегий в колебания ЦД: «стратегии бедра», связанной с движениями в тазобедренном суставе, и «стратегии лодыжки», связанной с движениями в голеностопном суставе, соответственно. Предложено, что в обычных условиях вертикальной стойки с нормальной функцией равновесия используется «стратегия лодыжки», а при усложнении условий поддержания равновесия, например, при стоянии на узкой или мягкой опоре, колебания в тазобедренном суставе резко возрастают, что отражается на увеличении линейной скорости колебания ЦД [4]. Таким образом, снижение угловой скорости при увеличении линейной может отражать рост вклада «стратегии бедра» в поддержании равновесия в пробе с ЗГ.

При сравнении спортсменов и контроля в пробе с закрытыми глазами практически все показатели колебания ЦД стали различаться между группами. Отклонения ЦД в обеих плоскостях ($p < 0,05$ и $p < 0,09$ для Qф и Qс соответственно), линейная ($p < 0,05$) и угловая

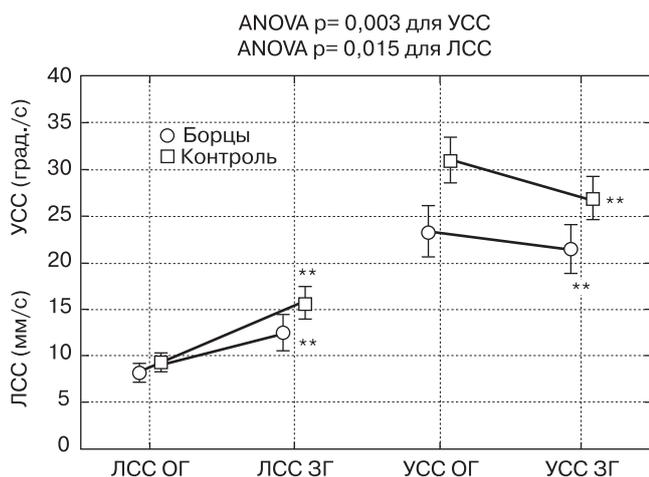


Рис. 1. Линейная средняя скорость (ЛСС) и угловая средняя скорость до нагрузки в группах борцов и контроля в пробах с открытыми (ОГ) и закрытыми глазами (ЗГ).

При ЗГ ЛСС и УСС увеличивались (для всех $p < 0,01$), однако прирост ЛСС ($p = 0,015$) и падение УСС ($p = 0,003$) было меньше у борцов

($p < 0,01$) скорости стали меньше, чем в контроле. Необходимо отметить, что степень снижения угловой скорости ($p = 0,003$, рис. 1) и степень увеличения линейной скорости ($p = 0,015$, рис. 1) у борцов были ниже, чем в контроле. Эти результаты указывают, что при удалении зрительной информации у борцов уровень регуляции вертикальной позы по сравнению с неспортсменами выше. Повышенная относительно контроля способность к равновесию у борцов в условиях с ЗГ может быть обусловлена более эффективным использованием проприоцептивной информации, поступающей от кожи и мышц голеностопного сустава, а также информации от вестибулярного аппарата [4, 6, 7].

Схожие различия между борцами и контролем были получены и после теста PWC_{170} (табл. 1). Спортсмены после физической нагрузки почти не отличались по стабиллографическим показателям от контроля в условиях ОГ, однако при ЗГ среднее квадратическое отклонение ЦД во фронтальной плоскости было снижено. Также снижены были показатели ЛСС в сагиттальной и фронтальной плоскостях, что указывает на более совершенную регуляцию равновесия у борцов в стойке с ЗГ на фоне утомления. Кроме того, степень прироста ЛСС при ЗГ во фронтальной плоскости была у борцов ниже, чем в контроле ($p = 0,023$). Эти результаты показывают, что после физической нагрузки при удалении зрительной информации различия между борцами и контролем оставались практически такими же, как и до нагрузки: все стабиллографические показатели увеличиваются в условиях ЗГ относительно ОГ, а рост линейной скорости во фронтальной плоскости менее выражен у спортсменов относительно контроля.

Функция равновесия после теста PWC_{170} . Влияние физического утомления. Борцы имели более высокую общую физическую работоспособность по тесту PWC_{170} (табл. 2), и они выполнили большую физическую нагрузку W_{max} ($p < 0,0001$). Субмаксимальный велоэргометрический тест PWC_{170} вызывал относительно одинаковую степень общего утомления, поскольку ЧСС_{max},

достигнутая в тесте, была одинаковой в обеих группах. Более того, за первые две минуты отдыха после PWC_{170} обе группы восстановились также одинаково (табл. 2). Таким образом, после PWC_{170} перед стабиллографическим тестом обе группы находились в одинаковом функциональном состоянии утомления. Отметим, что состояние утомления оценивалось нами по состоянию сердечной деятельности, то есть ЧСС, хотя и является общепринятым маркером общего состояния организма, может и скрывать утомление в мышечной системе.

Анализ функции равновесия на фоне утомления показывает, что регуляция вертикального положения снизилась в обеих группах. Снижение постуральной регуляции было выявлено как для состояния ОГ, так и для ЗГ. Так, под влиянием утомления в условиях ОГ произошло увеличение EllS ($p = 0,043$), ЛСС ($p < 0,001$), УСС ($p < 0,001$), а также ЛСС во фронтальной и сагиттальной плоскостях (оба $p < 0,001$) в группе борцов. Схожие различия в показателях до и после теста PWC_{170} в условиях ОГ были отмечены в контроле. В положении с ЗГ регуляция позы под влиянием утомления также снизилась. Отмечалось повышение следующих показателей у борцов: Qc ($p = 0,005$), EllS ($p = 0,005$), ЛСС ($p = 0,001$), УСС ($p = 0,006$), ЛССф и ЛССс ($p = 0,001$ и $p = 0,002$). В контроле увеличилось Qc ($p = 0,025$), EllS ($p = 0,046$), ЛСС ($p = 0,0070$), ЛССф ($p = 0,017$) и ЛССс ($p = 0,012$). Наши результаты согласуются с данными о снижении способности регулировать статическое равновесия на фоне утомления, полученными другими исследователями [9, 11]. Вероятной причиной снижения регуляции равновесия под влиянием утомления может быть снижение чувствительности рабочих мышц под действием метаболических факторов утомления: простагландинов, брадикинина, ионов калия и водорода, молочной кислоты и так далее [5]. Предложено, что эти и другие метаболиты прямо вызывают снижение чувствительности мышечных веретен и ухудшают обратную проприоцептивную афферентацию от мышц к ЦНС [8], что и ведет к нарушению регуляции равно-

Таблица 2

Показатели сердечной деятельности и физической работоспособности в группах (M±s)

Показатели	Контроль	Борцы	p
ЧССстабДН, уд./мин	95,7±18,8	76,7±15,1	0,0001
ЧССстабПН, уд./мин	122,7±11,3	111,4±10,0	0,0001
p2	0,00001	0,00001	
W_{max} , Вт	173,4±36,2	276,5±48,0	0,0001
ЧСС _{max} , уд./мин	174,6±4,2	174,5±6,3	
ЧСС30', уд./мин	155,5±9,6	156,4±8,0	
ЧСС60', уд./мин	141,6±11,7	141,6±8,1	
ЧСС120', уд./мин	125,6±14,8	120,9±8,1	
PWC_{170} , Вт/кг	2,3±0,6	3,5±0,6	0,0001

Примечания: ЧССстабДН / Пн – ЧСС во время стабиллографического теста до нагрузки (ДН) и после нагрузки (ПН); p – значимость различий по сравнению с контролем; p2 – значимость различий между ЧСС до и после нагрузки.

веса. Снижение мышечной чувствительности и функции равновесия отмечается как при аэробных, так и анаэробных физических упражнениях [11]. Период восстановления функции равновесия может длиться от 90 с при локальном утомлении мышц голеностопного сустава [3] до 13 мин при физическом утомлении системного характера [11]. Поскольку велоэргометрическая нагрузка относится к глобальным нагрузкам, а период восстановления от нагрузки до стабилотеста у нас составил 2 мин, то, вероятно, снижение функции равновесия было обусловлено как локальным мышечным, так и системным утомлением.

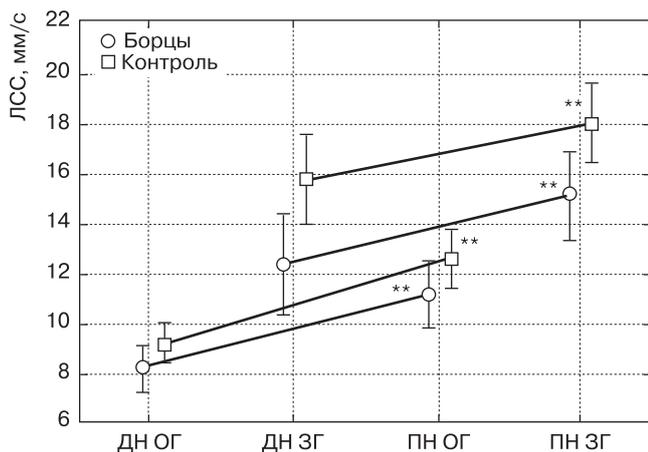


Рис. 2. Линейная средняя скорость (ЛСС) до (ДН) и после (ПН) физической нагрузки – теста PWC_{170} в группах борцов и контроля в пробе с открытыми (ОГ) и закрытыми (ЗГ) глазами.

В обеих группах произошло высокозначимое (все $p < 0,01$) увеличение ЛСС после нагрузки как в пробе с ОГ, так и в пробе с ЗГ, однако межгрупповых различий в изменениях не выявлено

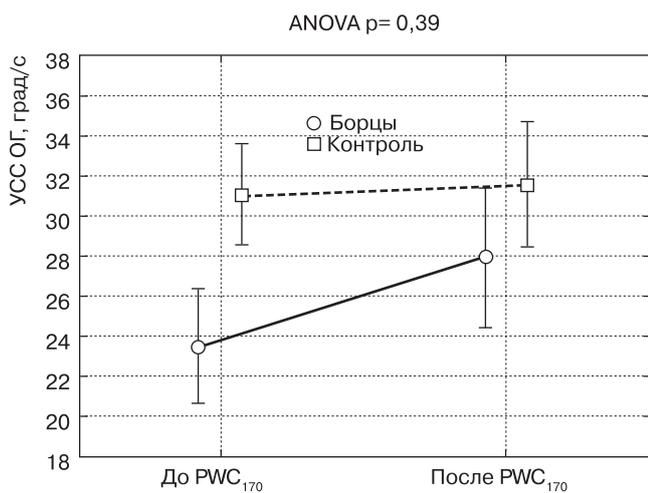


Рис. 3. Изменение угловой средней скорости (УСС) в пробе с открытыми глазами под влиянием утомления, вызванного тестом PWC_{170} .

Только у борцов произошло значимое ($p = 0,001$) увеличение УСС, в контроле изменений не обнаружено, значимость межгрупповых различий составила $p = 0,039$

Наиболее значимые различия выявлены в показателях средней линейной скорости: в обеих группах ЛСС увеличилась высокозначимо в условиях ОГ и ЗГ (рис. 2). Можно предположить, что увеличение линейной скорости может отражать нарушение функции равновесия под влиянием физического утомления. Связь уровня ЛСС со степенью физического утомления подтверждает корреляцию между ЛСС в пробе ЗГ с ЧССстабПН ($r = 0,027$, $p = 0,02$). Кроме ЛСС с ЧССстабПН коррелировал еще показатель УСС при ОГ ($r = 0,28$, $p = 0,023$) и при ЗГ ($r = 0,25$, $p = 0,041$). Следовательно, увеличение УСС после теста PWC_{170} , особенно выраженное в группе борцов, также тесно связано со степенью общего утомления, оцененного по ЧСС.

Принципиальных различий в степени снижения функции регуляции равновесия под влиянием физического утомления между спортсменами и контролем не обнаружено. Все показатели увеличивались примерно в одинаковой мере в обеих группах (например, изменение ЛСС, рис. 2) так, что статистический анализ не выявил различий между группами. Мы полагаем, что в целом это связано с одинаковой степенью общего утомления, достигнутого в тесте PWC_{170} , оцененного по ЧСС. Исключение составили изменения УСС в условиях ОГ в группах после PWC_{170} (рис. 3, значимость межгрупповых различий в изменении составила $p = 0,039$). После физической нагрузки УСС значимо увеличилась у борцов (рис. 3, $p = 0,001$ и $p = 0,006$ при ОГ и ЗГ соответственно), а в контроле осталась без изменений ($p > 0,1$). Мы полагаем, что повышенный прирост УСС у борцов и отсутствие прироста в контроле связано с относительно большей степенью утомления мышечной системы у борцов, несмотря на одинаковую степень общего утомления, оцененную по ЧСС. Это подтверждает также корреляция изменений (Δ) УСС при ОГ и ЗГ после PWC_{170} с W_{max} ($r = 0,35$, $p = 0,004$ и $r = 0,27$, $p = 0,028$ для Δ УСС при ОГ и ЗГ соответственно), то есть, чем выше была максимальная нагрузка в тесте PWC_{170} , тем больше увеличилась УСС.

Скорость восстановления ЧСС после PWC_{170} также оказалась связана с показателями стабилотестирования. $HRR_{стаб}$ отрицательно коррелировал с ЛСС при ЗГ ($r = -0,25$, $p = 0,041$), с УСС при ОГ ($r = -0,28$, $p = 0,022$) и ЗГ ($r = -0,29$, $p = 0,017$) после теста PWC_{170} . Можно отметить увеличение корреляций с показателями в пробе ЗГ, что подчеркивает важность мышечной проприоцептивной афферентации для регуляции равновесия при отсутствии зрительной информации. Таким образом, скорость восстановления функции равновесия тесно связана с восстановлением сердечно-сосудистой системы.

В заключение: борцы имеют более совершенную функцию регуляции статического равновесия как в обычных условиях до физической нагрузки, так и на фоне острого физического утомления. В наибольшей мере эти различия проявляются при отсутствии зрительной информации, указывая на более развитые у борцов проприоцептивную и вестибулярную системы, а также на более существенное значение информации от этих систем в их интеграции в ЦНС и последующей регуляции равновесия.

Литература

1. *Asseman F.B., Caron O., Crémieux A.* Are there specific conditions for which expertise in gymnastics could have an effect on postural control and performance? // *J. Gait Posture.* – 2008. – V. 27. – P. 76–81.
2. *Gribble P.A., Hertel J.* Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control // *Arch. Phys. Med. Rehabil.* – 2004. – V. 85. – P. 589–92.
3. *Harkins K.M., Mattacola C.G., Uhl T.L.* et al. Effects of 2 ankle fatigue models on the duration of postural stability dysfunction // *J. Athl. Train.* – 2005. – V. 40. – P. 191–194.
4. *Horak F.B.* Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? // *Age and Ageing.* – 2006. – V. 35.
5. *Pedersen J., Lonn J., Hellstrom F.* et al. Localized muscle fatigue decreases the acuity of the movement sense in the human shoulder // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 1999. – V. 31. – P. 1047–1052.
6. *Perrin P., Deviterne D., Hugel F., Perrot C.* Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control // *Gait Posture.* – 2002. – V. 15. – P. 187–194.
7. *Perrot C., Deviterne D., Perrin P.* Influence of training on postural and motor control in a combative sport // *J. Hum. Mov. Studies.* – 1998. – V. 35. – P. 119–135.
8. *Voight M.L., Hardin J.A., Blackburn T.A.* et al. The effects of muscle fatigue on and the relationship of arm dominance to shoulder proprioception // *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* – 1996. – V. 23. – P. 348–352.
9. *Yaggie J., Armstrong W.J.* Effects of lower extremity fatigue on indices of balance // *J. Sport Rehabil.* – 2004. – V. 13. – P. 312–322.
10. *Yoshitomi S.K., Tanaka C., Duarte M.* Postural responses to unexpected external perturbation in judoists of different ability levels // *Rev. Bras. Med. Esporte.* – 2006. – V. 1.12. – doi:10.1590/S1517-6922006000300010.
11. *Zachary G.F., Mihalik J.P., Blackburn J.T.* et al. Return of postural control to baseline after anaerobic and aerobic exercise protocols // *J. Athl. Train.* – 2008. – V. 43. – P. 456–463.