

**АВТОНОМНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ СЕРДЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ВО ВРЕМЯ АРИФМЕТИЧЕСКОГО СЧЕТА У СПОРТСМЕНОВ**

А.А. Мельников*

*Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны
(г. Ярославль)

Исследована автономная регуляция аппарата кровообращения (центральной гемодинамики (ЦГД) и вариабельности сердечного ритма (ВСР)) во время арифметического счета у молодых спортсменов ($n = 95$) разных специализаций с большим стажем занятий ($8,0 \pm 3,5$ лет). Показатели ЦГД (ударный и минутный объемы крови – УОК и МОК), ВСР (стандартное отклонение NN-интервалов SDNN, мощность низко- и высокочастотных волн LF, HF, индекс симпато-вагусного баланса LF/HF, стресс-индекс SI) определяли одновременно с помощью импедансной кардиореографии (оборудование фирмы «Медасс», Россия) до и во время устного арифметического счета («500 – 7») в положении лежа. Установлено, что в условиях покоя, а также во время арифметического счета у спортсменов частота сердечных сокращений, общее периферическое сосудистое сопротивление, диастолическое (ДАД) и среднее артериальное давление были ниже, а УОК и МОК, расчетный индекс податливости артерий Co и ВСР (SDNN, LF, HF) – выше, чем в контрольной группе ($n = 61$). Показатели ЦГД и ВСР во время счета коррелировали с индексом физической работоспособности PWC170. Прирост ДАД ($p = 0,012$), SDNN ($p = 0,064$) и LF ($p = 0,054$) у спортсменов во время счета был больше, а снижение УОК ($p = 0,025$) и особенно Co ($p < 0,0001$), напротив, меньше, чем в контрольной группе. Индекс PWC170 в общей группе ($n = 156$) коррелировал с изменением Co ($r = 0,252$, $p = 0,002$). Таким образом, сердечная деятельность во время психоэмоционального напряжения, вызванного арифметическим счетом, у спортсменов характеризовалась повышенной экономичностью кардиогемодинамики, большей ВСР, а также менее значительным снижением податливости артерий, указывая на повышенную устойчивость спортсменов к психоэмоциональному напряжению. Полученные данные позволяют рассматривать регулярные физические нагрузки в качестве важного профилактического средства, предупреждающего развитие различных расстройств аппарата кровообращения, обусловленных психоэмоциональными стрессами.

Ключевые слова: кардиогемодинамика, вариабельность сердечного ритма, арифметический счет, психоэмоциональное напряжение, спортсмены.

Ответственный за переписку: Мельников Андрей Александрович, адрес: 150001, г. Ярославль, просп. Московский, д. 28; e-mail: meln1974@yandex.ru

Для цитирования: Мельников А.А. Автономная регуляция сердечной деятельности во время арифметического счета у спортсменов // Журн. мед.-биол. исследований. 2019. Т. 7, № 2. С. 205–215. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.205

Регулярная физическая тренировка оказывает существенное влияние на структурно-функциональные особенности и регуляторные механизмы аппарата кровообращения, что способствует оптимизации его состояния как в условиях физиологического покоя, так и при различных психических и физических стрессах [1]. Избыточная реакция сердечно-сосудистой системы на психоэмоциональный стресс является фактором риска развития ишемии миокарда и гипертензии [2]. Считается, что регулярная физическая нагрузка может уменьшать стрессовую реакцию гипоталамо-надпочечниковой оси [3] и реактивность аппарата кровообращения [4] в ответ на физический и психоэмоциональный стресс. Однако в ряде экспериментов [5, 6] показана повышенная реактивность показателей кардиогемодинамики в ответ на психоэмоциональное напряжение у более тренированных лиц. Так, в работе [5] установлен повышенный рост артериального давления и частоты сердечных сокращений (ЧСС) при более выраженном снижении вариабельности сердечного ритма (ВСР) и ударного объема крови во время арифметического счета у мужчин с более высоким уровнем максимального потребления кислорода. Положительная корреляция была выявлена между аэробной работоспособностью и реакцией систолического артериального давления у мужчин [6]. Эти данные указывают на парадоксально повышенную реактивность сердечно-сосудистой системы на психоэмоциональный стресс у физически тренированных лиц. Для изучения данных противоречий мы провели собственное исследование, целью которого было оценить состояние и реакцию центральной гемодинамики (ЦГД) и ВСР на стандартную умственную нагрузку у спортсменов.

Материалы и методы. Обследованы молодые спортсмены мужского пола ($n = 95$) с длительным (более 4 лет) стажем занятий спортивными играми (футбол, хоккей), легкой атлетикой, лыжными гонками и единоборствами, регулярно выступающие на соревнованиях регионального и национального уровня, и малоактивные лица (контроль, $n = 61$).

Все испытуемые получили полную информацию о целях и методах исследования и дали согласие на участие в нем (в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной Медицинской Ассоциации (1964 год, с изменениями 2013 года)).

Антропометрические показатели определяли общепринятыми методами. Физическую работоспособность оценивали по индексу PWC170 на велоэргометре «Kettler FX1» при помощи теста со ступенчато-возрастающей нагрузкой. После разминки (50 Вт, 3 мин) нагрузка увеличивалась каждую минуту на 25 Вт и оканчивалась на ступени при ЧСС > 170 уд./мин. ЧСС во время работы регистрировали с помощью пульсометра «Polar S810» (Финляндия). Индекс PWC170 рассчитывали по формуле

$$PWC170 = W1 + ((W2 - W1) \times ((170 - ЧСС1) / (ЧСС2 - ЧСС1))),$$

где $W1$, $W2$ – нагрузка на предпоследней и последней ступенях; ЧСС1, ЧСС2 – ЧСС на предпоследней и последней ступенях.

Показатели ЦГД и ВСР определяли одновременно с помощью импедансного кардиографического «Реодин-504» («Медасс», Россия) в состоянии покоя (положение лежа) в течение 3 мин после 10 мин отдыха. Артериальное давление – систолическое (САД) и диастолическое (ДАД) – оценивали трижды автоматизированным ртутным тонометром «Bremed-2200» (Италия).

Регистрировали следующие параметры ЦГД: УОК – ударный объем крови, МОК – минутный объем крови, ОПСС – общее периферическое сосудистое сопротивление, АДС – среднее артериальное давление. Рассчитывали индекс податливости артериальной системы, мл/мм рт. ст. [7],

$$Co = (УОК \cdot ДД) / (АДп \cdot RR),$$

где ДД – длительность диастолы, с; АДп – пульсовое артериальное давление, мм рт. ст.; RR – длительность сердечного цикла, с.

Для оценки ВСР использовали индекс SDNN (стандартное отклонение NN-интервалов), стресс-индекс SI P.M. Баевского, а также показатели спектрального анализа: HF – мощность высокочастотных волн (0,15–0,4 Гц), LF – мощность

низкочастотных волн (0,04–0,15 Гц), отношение LF/HF – индекс симпато-вагусного баланса. Показатель VLF (мощность очень низкочастотных волн) не использовали ввиду короткой записи ЭКГ (3 мин) [8]. Рассчитывали реакцию изученных показателей ЦГД и ВСР на арифметический счет относительно величин покоя (Δ , %).

Арифметический счет использовали для моделирования умственного психоэмоционального напряжения [4–6]. В положении лежа испытуемому предлагали последовательно, быстро и точно вычитать цифру 7 из 500 ($500 - 7 = 493$; $493 - 7 = 486$; и т. д.) в течение 3 мин. Арифметическое действие выполнялось вслух: испытуемый постоянно сообщал полученную разность (493, 486 и т. д.). Экспериментатор следил за правильностью вычисления и останавливал при неточном ответе. Количество ошибок фиксировалось. Показатели ЦГД определяли в период 60–100 с теста, когда обследуемый испытывал устойчивое напряженное психоэмоциональное состояние. ВСР регистрировали в течение всего теста (3 мин).

Результаты представлены в виде среднего арифметического (M) и стандартного отклонения (s), реакция показателей – в виде медианы (Me) и межквартильного размаха (25–75 %). Для сравнительного анализа показателей между группами использовали непараметрический критерий Манна–Уитни для непарных данных. Значимость

различий между показателями в состоянии покоя и при арифметическом счете в группах контроля и спортсменов определяли по критерию Вилкоксона для парных данных. Гипотезу о взаимосвязи данных проверяли с помощью непараметрической корреляции Спирмена. Критический уровень значимости составлял $p < 0,05$.

Результаты.

Антропометрические данные. У спортсменов была немного больше масса тела ($71,8 \pm 11,4$ кг в контроле и $74,8 \pm 10,9$ кг у спортсменов, $p = 0,030$), однако возраст (16–22 года), длина тела ($1,81 \pm 0,06$ и $1,80 \pm 0,08$ м в группе контроля и у спортсменов соответственно) и площадь поверхности тела ($1,91 \pm 0,15$ м² в контроле и $1,94 \pm 0,17$ м² у спортсменов) не отличались от контрольных значений.

У спортсменов был высокосignificantly больше индекс PWC170 ($274,1 \pm 55,6$ Вт против $195,4 \pm 44,9$ Вт у малоактивных лиц; $p = 0,01 \times 10^{-10}$). Спортивный стаж спортсменов составлял $8,0 \pm 3,5$ лет, что позволяет сделать вывод о высокой адаптированности их к физическим нагрузкам.

Состояние ЦГД и ВСР в покое и во время арифметического счета. У спортсменов в состоянии покоя наблюдались пониженные значения ЧСС, ДАД, АДС, ОПСС ($p < 0,007$); напротив, УОК, МОК, Со ($p < 0,02–0,001$) были повышены (табл. 1). Со стороны показателей

Таблица 1

СОСТОЯНИЕ ЦГД И ВСР У СПОРТСМЕНОВ И МАЛОАКТИВНЫХ ЛИЦ В ПОКОЕ И ПРИ АРИФМЕТИЧЕСКОМ СЧЕТЕ ($M \pm s$)

Показатель	Контроль ($n = 61$)	Спортсмены ($n = 95$)	p
ЧСС _{покой} , уд./мин	$71,3 \pm 11,0$	$62,7 \pm 9,6$	0,001
ЧСС _{счет} , уд./мин	$81,3 \pm 13,9^{***}$	$70,8 \pm 12,0^{***}$	0,001
Δ ЧСС, %	13,9 [5,4–23,0]	11,3 [4,4–18,91]	
САД _{покой} , мм рт. ст.	$114,9 \pm 11,3$	$117,0 \pm 12,0$	
САД _{счет} , мм рт. ст.	$131,5 \pm 14,4^{***}$	$131,8 \pm 13,7^{***}$	
Δ САД, %	$14,6 \pm 9,1$	$13,1 \pm 10,5$	
ДАД _{покой} , мм рт. ст.	$66,5 \pm 8,2$	$60,2 \pm 8,9$	0,000
ДАД _{счет} , мм рт. ст.	$76,9 \pm 10,1^{***}$	$72,9 \pm 10,4^{***}$	0,009

Окончание табл. 1

Показатель	Контроль (n = 61)	Спортсмены (n = 95)	p
Δ ДАД, %	15,8±12,7	21,8±13,7	0,012
АДС _{покой} , мм рт. ст.	82,6±7,8	79,1±8,0	0,007
АДС _{счет} , мм рт. ст.	95,1±10,1***	92,5±10,0***	0,075
Δ АДС, %	15,1±9,3	17,3±10,5	
УОК _{покой} , мл	89,2±23,6	112,2±27,8	0,001
УОК _{счет} , мл	79,1±20,3***	103,8±25,2**	0,001
Δ УОК, %	-11,3±11,9	-6,2±12,6	0,025
ОПСС _{покой} , дин/(с·см ⁻⁵)	1120,1±271,1	970,1±235,3	0,002
ОПСС _{счет} , дин/(с·см ⁻⁵)	1342,4±356,2***	1144,5±299,5***	0,001
Δ ОПСС, %	21,5±21,3	18,7±19,9	
МОК _{покой} , л/мин	6,26±1,43	6,97±1,81	0,019
МОК _{счет} , л/мин	6,26±1,60	7,07±1,77	0,003
Δ МОК, %	-0,4±13,3	2,8±14,3	
Со _{покой} , мл/мм рт. ст.	1,07±0,46	1,21±0,37	0,009
Со _{счет} , мл/мм рт. ст.	0,78±0,29***	1,03±0,35***	0,001
Δ Со, %	-25,5±15,9	-13,1±18,9	0,001
Δ SDNN, %	-2,3 [-53,3-235,0]	17,5 [-10,9-43,0]	0,064
HF _{покой} , мс ² /Гц	1575,3±1495,7	2445,5±3198,2	0,094
HF _{счет} , мс ² /Гц	971,8±1050,3***	1393,7±1433,7***	0,053
Δ HF, %	-50,1 [-95,0-601,0]	-37,2 [-65,0-22,6]	
LF _{покой} , мс ² /Гц	1030,9±837,2	1452,6±1455,9	0,085
LF _{счет} , мс ² /Гц	1245,5±977,5	1947,2±1607,6**	0,002
Δ LF, %	8,5 [-85,4-638,0]	61,3 [-9,2-166,1]	0,054
LF/HF _{покой} , ед.	0,98±0,82	1,03±1,07	
LF/HF _{счет} , ед.	1,9±1,5***	2,1±1,8***	
Δ LF/HF, %	112,1 [-63,3-1127,0]	142,0 [24,9-347,3]	
SI _{покой} , ед.	94,1±81,7	76,7±82,1	0,008
SI _{счет} , ед.	107,8±99,4	63,5±53,9	0,001
Δ SI, %	11,3 [-76,9-295,0]	-7,8 [-35,1-36,0]	

Примечания: 1. Δ – изменение показателя во время умственного счета относительно покоя. 2. Реакция показателей ВСР в виду значительного отклонения от нормального распределения представлена как медиана (*Me*) и межквартильный размах [25%-75%]. 3. Столбец *p* – значимость различий между группами; * – значимость различий между показателями покоя и при умственном счете внутри групп: ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

ВСП у спортсменов отмечалась тенденция к повышенной общей ВСП по данным SDNN, HF и LF ($p < 0,1$), а индекс SI был снижен ($p = 0,008$). АДС, ДАД, УОК и Со имели среднюю силу ($r = 0,32-0,48$; $p < 0,001$), а показатели ВСП – слабую силу связи ($r = 0,18-0,33$; $p < 0,05-0,01$) с индексом PWC170.

При арифметическом счете обе группы сделали одинаковое количество ошибок: спортсмены – $3,6 \pm 2,8$; представители контрольной группы – $4,2 \pm 3,4$.

Во время арифметического счета ЧСС, ДАД, АДС ($p = 0,075$) и ОПСС у спортсменов были значимо ниже, а УОК, МОК и Со – значимо выше, чем в контроле (табл. 1). Также у спортсменов во время счета оказались высокосignificantly ($p < 0,01$) больше практически все показатели ВСП, а отношение LF/HF не отличалось между группами. Большинство показателей ЦГД и ВСП во время умственного счета имели значимую корреляционную связь с индексом PWC170 (табл. 2).

Реактивность показателей ЦГД и ВСП в ответ на умственную нагрузку. Величины изменения большинства показателей ЦГД (Δ ЧСС, Δ АДС, Δ САД, Δ МОК, Δ ОПСС) и ВСП (Δ HF, Δ LF/HF, Δ SI) в ответ на умственную нагрузку были одинаковыми у спортсменов и малоактивных лиц (табл. 1). Однако у спортсменов были меньше Δ УОК ($p = 0,025$) и Δ Со ($p < 0,00002$). Напротив, ДАД ($p = 0,012$), LF ($p = 0,054$) и SDNN ($p = 0,064$) увеличились в большей степени у спортсменов.

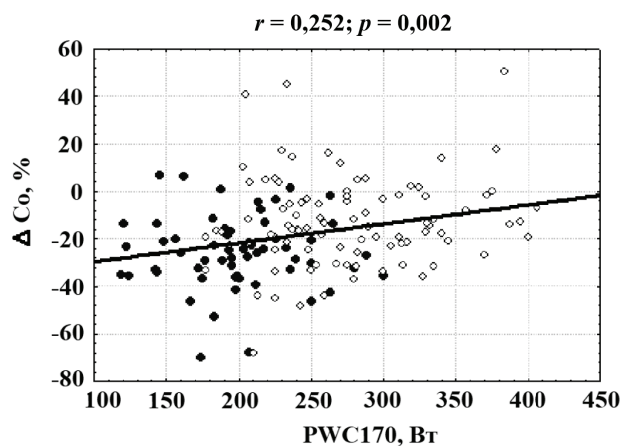
Показатель Δ Со коррелировал с индексом PWC170 ($r = 0,252$; $p = 0,002$) (см. рисунок), Δ SDNN ($r = 0,168$; $p = 0,036$) и Δ LF ($r = 0,163$; $p = 0,041$). Также Δ САД ($r = -0,149$; $p = 0,063$), Δ SDNN ($r = 0,176$; $p = 0,027$), Δ LF ($r = 0,166$; $p = 0,037$) коррелировали с PWC170.

Обсуждение. В качестве основных результатов нашей работы можно выделить следующие: 1) при умственном напряжении кардиогемодинамика у спортсменов характеризуется повышенной экономичностью, что отражается меньшими значениями ЧСС_{счет}, ДАД_{счет}, ОПСС_{счет}, повышенными значениями УОК_{счет}

Таблица 2

КОРРЕЛЯЦИЯ СПИРМЕНА (R) МЕЖДУ ИНДЕКСОМ PWC170 И ПОКАЗАТЕЛЯМИ ЦГД, ВСП ВО ВРЕМЯ АРИФМЕТИЧЕСКОГО СЧЕТА У ВСЕХ ОБСЛЕДОВАННЫХ (n = 156)

Показатель	r =	p ≤
САД _{счет}	0,018	0,821
ДАД _{счет}	-0,200	0,013
АДС _{счет}	-0,134	0,098
УОК _{счет}	0,600	0,001
ОПСС _{счет}	-0,298	0,001
МОК _{счет}	0,219	0,006
Со _{счет}	0,537	0,001
ЧСС _{счет}	-0,580	0,001
SDNN _{счет}	0,400	0,000
SI _{счет}	-0,425	0,001
HF _{счет}	0,248	0,002
LF _{счет}	0,322	0,002
LF/HF _{счет}	-0,005	0,950



Взаимосвязь между индексом физической работоспособности (PWC170) и изменением индекса податливости артерий (Δ Со) во время арифметического счета: \circ – у спортсменов ($n = 95$); \bullet – в контрольной группе ($n = 61$)

МОК_{счет}, Со_{счет} и показателей ВСР; 2) реактивность ДАД и LF на арифметический счет у спортсменов повышена; напротив, степень снижения УОК и Со при счете меньше; 3) с ростом аэробной физической работоспособности увеличение жесткости артериальной системы во время арифметического счета снижается, и в большей мере это характерно для спортсменов.

В нашей работе на достаточно большой выборке спортсменов ($n = 95$) с высоким уровнем текущего функционального состояния и аэробной физической подготовленности (индекс PWC170 был на 40 % выше при $p = 0,01 \cdot 10^{-10}$) показано, что во время стандартного умственного напряжения работа аппарата кровообращения характеризуется повышенной эффективностью. Такие различия между группами в гемодинамике и ВСР при счете в целом совпадают с условиями покоя. В базальном состоянии лежа у спортсменов выявлены многократно описанные другими авторами особенности регуляции кардиогемодинамики: повышенный тонус сердечного вагуса, обусловленная этим ВСР, сниженная ЧСС, увеличенные значения УОК, МОК и небольшая, но статистически значимая артериальная гипотензия [1, 7, 9]. Таким образом, повышенная эффективность аппарата кровообращения, характерная для спортсменов в покое, еще более усиливается во время умственного напряжения. Это подтверждают также корреляционные связи большинства показателей ЦГД и ВСР с индексом PWC170: значения ЧСС, ДАД, ОПСС и SI во время умственного напряжения были тем ниже, а УОК, МОК, Со и вагусные показатели (SDNN, HF) – тем выше, чем выше был уровень PWC170 (табл. 2). Наши результаты согласуются с данными срезовых [1, 10] и лонгитудинальных работ [4], показавшими повышенную эффективность и меньшее напряжение регуляции кровообращения у спортсменов во время схожих тестов с психоэмоциональным напряжением. Таким образом, наши результаты и литературные данные позволяют утверждать, что повышенная

эффективность аппарата кровообращения во время покоя у спортсменов, а также механизмы, обеспечивающие эту эффективность, распространяются также и на состояние умственного психоэмоционального напряжения.

Несмотря на значимые различия по исследуемым показателям ЦГД (АДС, ДАД, УОК) в состоянии покоя и во время психоэмоционального напряжения, реактивность (величина изменений) многих параметров ЦГД (Δ ЧСС, Δ САД, Δ АДС, Δ МОК) и ВСР (Δ HF, Δ LF/HF, Δ SI) не различалась между группами. Это согласуется с данными одних работ [10, 11], но противоречит другим, показавшим увеличение реактивности этих параметров в различных группах тренированных испытуемых [5, 6]. Возможно, часть различий с работами [5, 6] связана с объемом выборки и спортивным стажем испытуемых, которые в нашей работе были больше. Бóльший стаж вероятно, обусловливал значительные адаптационные структурно-функциональные перестройки в системе кровообращения и ее регуляции у обследованных спортсменов.

Несмотря на сниженные значения ДАД в покое ($p < 0,001$) и при арифметическом счете ($p = 0,009$), реакция ДАД у спортсменов была выше ($p = 0,012$). Механизмы данного эффекта, который также наблюдали в исследованиях [5, 6], не совсем ясны. Особенно это удивительно в свете данных о сниженной возбудимости центральных структур симпатического отдела в продолговатом мозге после физической тренировки [12]. Можно предположить, что повышенная реакция ДАД отражает большой резерв регуляции кровообращения за счет повышенной податливости и более низкого артериального давления в базальном состоянии покоя. Кроме того, величина изменений (реактивность) увеличивается при расчете относительно более низких величин ДАД. Также бóльшая реакция ДАД у спортсменов может быть связана с перераспределением и централизацией кровотока за счет повышенного притока венозной крови к сердцу во время умственного напряжения.

Действительно, поскольку объем крови, депонируемый в венозном отделе, у спортсменов выше [13], то активация симпатической системы будет способствовать большему венозному возврату, повышенным УОК и артериальному давлению. Кроме того, часть различий может быть обусловлена врожденным преобладанием норадреналинового типа симпатoadреналовой реакции на психическое напряжение у спортсменов, ответственного за повышенный рост артериального давления при счете. Поскольку такой тип реакции наиболее характерен для более агрессивных животных [14], то можно полагать, что в группу спортсменов вошли лица с большей целеустремленностью, стремлением к лидерству и самоутверждению и, одновременно, с повышенной норадреналиновой реакцией симпатической системы. Эти психические свойства необходимы для спортивных достижений и преодоления больших психоэмоциональных нагрузок. Однако для выяснения точных механизмов требуются дополнительные исследования.

Кроме того, у спортсменов во время арифметического счета мы отмечали увеличение SDNN ($p < 0,01$) и LF ($p < 0,05$) по сравнению с состоянием покоя. Причем прирост этих показателей был больше ($p < 0,07$), чем в контроле. Наши данные противоречат результатам о более выраженном снижении HF и LF у физически тренированных испытуемых во время арифметического счета [15]. Вероятно, повышение SDNN и LF (между которыми имеется высокая корреляция, $r = 0,81$) вызвано изменением паттерна дыхания в результате уменьшения частоты дыхания и увеличения дыхательных объемов во время устного счета по сравнению с условиями покоя. Действительно, показано, что уменьшение частоты дыхания при участии барорефлекса сдвигает пиковую частоту BCP в сторону низких частот, что обуславливает увеличение LF и снижение HF [16]. Выраженные реакции LF и SDNN у спортсменов могут быть связаны с повышенной чувствительностью барорефлекса [9]. Таким образом, вероятно, активизация дыхания вызы-

вает существенное повышение барорефлекторной активности у спортсменов, которая ведет к большему сдвигу пика BCP и, соответственно, к росту LF [17]. Похожее увеличение SDNN и менее существенное повышение LF отмечали у тренированных девушек во время арифметического счета [6]. В целом данные отличия спортсменов имеют позитивный характер, отражая повышенные регуляторные возможности автономной нервной системы.

Значимым результатом нашей работы является то, что установлено менее выраженное снижение реакций Δ УОК ($p = 0,025$) и Δ Со ($p < 0,001$) у спортсменов во время умственного напряжения, чем в контроле. Возможно, меньший прирост жесткости артерий до некоторой степени обуславливает и меньшее снижение УОК за счет сниженной постнагрузки на сердце. Кроме того, реактивность Со положительно коррелировала с индексом PWC170 ($r = 0,252$; $p = 0,002$) (см. рисунок). Факт повышенной податливости артерий у спортсменов, особенно занимающихся аэробными видами спорта, хорошо известен [18], однако данные о менее значительном снижении податливости артерий у спортсменов при психоэмоциональном напряжении практически отсутствуют в литературе. Механизм роста жесткости артерий связан с повышением тонуса сосудов, обусловленным активацией симпатической нервной системы, и выбросом катехоламинов из надпочечников во время психоэмоционального стресса [19]. Эффект физической тренировки на Δ Со может быть в большей мере обусловлен повышенной вазодилаторной и антиоксидантной способностью эндотелия сосудов [20], чем сниженной реактивностью симпатoadреналовой системы или сосудов [3, 4], поскольку косвенный маркер симпатической реактивности – Δ ДАД – у обследованных нами спортсменов был повышен. Для уточнения механизмов, ответственных за выявленные особенности артериальной системы у спортсменов, необходимы дополнительные исследования.

Полученные данные о повышенной экономичности работы аппарата кровообращения в условиях психоэмоционального напряжения, а также снижении реактивности УОК и Со у спортсменов позволяют рассматривать регулярные физические нагрузки в качестве важного профилактического средства, предупреждающего развитие различных расстройств аппарата кровообращения, которые могут запускаться повторяющимися бытовыми и профессиональными психоэмоциональными стрессами [2].

Проведенное исследование позволяет резюмировать, что аппарат кровообращения во время психоэмоционального напряжения, смо-

делированного с помощью арифметического счета, у спортсменов функционирует с повышенной экономичностью, что связано с аэробной физической работоспособностью испытуемых. Важной отличительной особенностью реакции кровообращения на умственную нагрузку у спортсменов было меньшее снижение УОК и, особенно, расчетного индекса податливости артериальной системы, что указывает на повышенную устойчивость тренированных спортсменов также к психоэмоциональному напряжению.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Silverman M.N., Deuster P.A. Biological Mechanisms Underlying the Role of Physical Fitness in Health and Resilience // *Interface Focus*. 2014. Vol. 4, № 5. Art. № 20140040. DOI: 10.1098/rsfs.2014.0040
2. Panaite V., Salomon K., Jin A., Rottenberg J. Cardiovascular Recovery from Psychological and Physiological Challenge and Risk for Adverse Cardiovascular Outcomes and All-Cause Mortality // *Psychosom. Med.* 2015. Vol. 77, № 3. P. 215–226.
3. Traustadóttir T., Bosch P.R., Cantu T., Matt K.S. Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis Response and Recovery from High-Intensity Exercise in Women: Effects of Aging and Fitness // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2004. Vol. 89, № 7. P. 3248–3254.
4. O'Sullivan S.E., Bell C. Training Reduces Autonomic Cardiovascular Responses to Both Exercise-Dependent and -Independent Stimuli in Humans // *Auton. Neurosci.* 2001. Vol. 91, № 1-2. P. 76–84.
5. Dishman R.K., Jackson E.M., Nakamura Y. Influence of Fitness and Gender on Blood Pressure Responses During Active or Passive Stress // *Psychophysiology*. 2002. Vol. 39, № 6. P. 568–576.
6. Dishman R.K., Nakamura Y., Jackson E.M., Ray C.A. Blood Pressure and Muscle Sympathetic Nerve Activity During Cold Pressor Stress: Fitness and Gender // *Psychophysiology*. 2003. Vol. 40, № 3. P. 370–380.
7. Белоцерковский З.Б. Эргометрические и кардиологические критерии физической работоспособности у спортсменов. М.: Сов. спорт, 2005. 312 с.
8. Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology // *Circulation*. 1996. Vol. 93, № 5. P. 1043–1065.
9. Okazaki K., Iwasaki K., Prasad A., Palmer M.D., Martini E.R., Fu Q., Arbab Zadeh A., Zhang R., Levine B.D. Dose-Response Relationship of Endurance Training for Autonomic Circulatory Control in Healthy Seniors // *J. Appl. Physiol.* (1985). 2005. Vol. 99. P. 1041–1049.
10. Acevedo E.O., Webb H.E., Weldy M.L., Fabianke E.C., Orndorff G.R., Starks M.A. Cardiorespiratory Responses of Hi Fit and Low Fit Subjects to Mental Challenge During Exercise // *Int. J. Sports Med.* 2006. Vol. 27, № 12. P. 1013–1022.
11. Szabó A., Brown T.G., Gauvin L., Seraganian P. Aerobic Fitness Does Not Influence Directly Heart Rate Reactivity to Mental Stress // *Acta Physiol. Hung.* 1993. Vol. 81, № 3. P. 229–237.
12. Mueller P.J., Hasser E.M. Putative Role of the NTS in Alterations in Neural Control of the Circulation Following Exercise Training in Rats // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2006. Vol. 290, № 2. P. R383–R392.

13. *Mtinangi B.L., Hainsworth R.* Effects of Moderate Exercise Training on Plasma Volume, Baroreceptor Sensitivity and Orthostatic Tolerance in Healthy Subjects // *Exp. Physiol.* 1999. Vol. 84, № 1. P. 121–130.
14. *Sgoifo A., Costoli T., Meerlo P., Buwalda B., Pico'-Alfonso M.A., De Boer S., Musso E., Koolhaas J.* Individual Differences in Cardiovascular Response to Social Challenge // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2005. Vol. 29, № 1. P. 59–66.
15. *Boutcher S.H., Nugent F.W., McLaren P.F., Weltman A.L.* Heart Period Variability of Trained and Untrained Men at Rest and During Mental Challenge // *Psychophysiology.* 1998. Vol. 35, № 1. P. 16–22.
16. *Brown T.E., Beightol L.A., Koh J., Eckberg D.L.* Important Influence of Respiration on Human R-R Interval Power Spectra Is Largely Ignored // *J. Appl. Physiol.* (1985). 1993. Vol. 75, № 5. P. 2310–2317.
17. *Goldstein D.S., Benthon O., Park M.Y., Sharabi Y.* Low-Frequency Power of Heart Rate Variability Is Not a Measure of Cardiac Sympathetic Tone but May Be a Measure of Modulation of Cardiac Autonomic Outflows by Baroreflexes // *Exp. Physiol.* 2011. Vol. 96, № 12. P. 1255–1261.
18. *Cameron J.D., Dart A.M.* Exercise Training Increases Total Systemic Arterial Compliance in Humans // *Am. J. Physiol.* 1994. Vol. 266, № 2, pt. 2. P. H693–H701.
19. *Vlachopoulos C., Kosmopoulou F., Alexopoulos N., Ioakeimidis N., Siasos G., Stefanadis C.* Acute Mental Stress Has a Prolonged Unfavorable Effect on Arterial Stiffness and Wave Reflections // *Psychosom. Med.* 2006. Vol. 68, № 2. P. 231–237.
20. *Di Francescomarino S., Sciartilli A., Di Valerio V., Di Baldassarre A., Gallina S.* The Effect of Physical Exercise on Endothelial Function // *Sports Med.* 2009. Vol. 39, № 10. P. 797–812.

References

1. Silverman M.N., Deuster P.A. Biological Mechanisms Underlying the Role of Physical Fitness in Health and Resilience. *Interface Focus*, 2014, vol. 4, no. 5. Art. no. 20140040. DOI: 10.1098/rsfs.2014.0040
2. Panaite V., Salomon K., Jin A., Rottenberg J. Cardiovascular Recovery from Psychological and Physiological Challenge and Risk for Adverse Cardiovascular Outcomes and All-Cause Mortality. *Psychosom. Med.*, 2015, vol. 77, no. 3, pp. 215–226.
3. Traustadóttir T., Bosch P.R., Cantu T., Matt K.S. Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis Response and Recovery from High-Intensity Exercise in Women: Effects of Aging and Fitness. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 2004, vol. 89, no. 7, pp. 3248–3254.
4. O'Sullivan S.E., Bell C. Training Reduces Autonomic Cardiovascular Responses to Both Exercise-Dependent and -Independent Stimuli in Humans. *Auton. Neurosci.*, 2001, vol. 91, no. 1-2, pp. 76–84.
5. Dishman R.K., Jackson E.M., Nakamura Y. Influence of Fitness and Gender on Blood Pressure Responses During Active or Passive Stress. *Psychophysiology*, 2002, vol. 39, no. 6, pp. 568–576.
6. Dishman R.K., Nakamura Y., Jackson E.M., Ray C.A. Blood Pressure and Muscle Sympathetic Nerve Activity During Cold Pressor Stress: Fitness and Gender. *Psychophysiology*, 2003, vol. 40, no. 3, pp. 370–380.
7. Belotserkovskiy Z.B. *Ergometricheskie i kardiologicheskie kriterii fizicheskoy rabotosposobnosti u sportsmenov* [Ergometric and Cardiac Criteria of Physical Capacity for Work in Athletes]. Moscow, 2005. 312 p.
8. Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*, 1996, vol. 93, no. 5, pp. 1043–1065.
9. Okazaki K., Iwasaki K., Prasad A., Palmer M.D., Martini E.R., Fu Q., Arbab Zadeh A., Zhang R., Levine B.D. Dose-Response Relationship of Endurance Training for Autonomic Circulatory Control in Healthy Seniors. *J. Appl. Physiol. (1985)*, 2005, vol. 99, no. 3, pp. 1041–1049.
10. Acevedo E.O., Webb H.E., Weldy M.L., Fabianke E.C., Orndorff G.R., Starks M.A. Cardiorespiratory Responses of Hi Fit and Low Fit Subjects to Mental Challenge During Exercise. *Int. J. Sports Med.*, 2006, vol. 27, no. 12, pp. 1013–1022.

11. Szabó A., Brown T.G., Gauvin L., Seraganian P. Aerobic Fitness Does Not Influence Directly Heart Rate Reactivity to Mental Stress. *Acta Physiol. Hung.*, 1993, vol. 81, no. 3, pp. 229–237.

12. Mueller P.J., Hasser E.M. Putative Role of the NTS in Alterations in Neural Control of the Circulation Following Exercise Training in Rats. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 2006, vol. 290, no. 2, pp. R383–R392.

13. Mtinangi B.L., Hainsworth R. Effects of Moderate Exercise Training on Plasma Volume, Baroreceptor Sensitivity and Orthostatic Tolerance in Healthy Subjects. *Exp. Physiol.*, 1999, vol. 84, no. 1, pp. 121–130.

14. Sgoifo A., Costoli T., Meerlo P., Buwalda B., Pico-Alfonso M.A., De Boer S., Musso E., Koolhaas J. Individual Differences in Cardiovascular Response to Social Challenge. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 2005, vol. 29, no. 1, pp. 59–66.

15. Boutcher S.H., Nugent F.W., McLaren P.F., Weltman A.L. Heart Period Variability of Trained and Untrained Men at Rest and During Mental Challenge. *Psychophysiology*, 1998, vol. 35, no. 1, pp. 16–22.

16. Brown T.E., Beightol L.A., Koh J., Eckberg D.L. Important Influence of Respiration on Human R-R Interval Power Spectra Is Largely Ignored. *J. Appl. Physiol.* (1985), 1993, vol. 75, no. 5, pp. 2310–2317.

17. Goldstein D.S., Benth O., Park M.Y., Sharabi Y. Low-Frequency Power of Heart Rate Variability Is Not a Measure of Cardiac Sympathetic Tone but May Be a Measure of Modulation of Cardiac Autonomic Outflows by Baroreflexes. *Exp. Physiol.*, 2011, vol. 96, no. 12, pp. 1255–1261.

18. Cameron J.D., Dart A.M. Exercise Training Increases Total Systemic Arterial Compliance in Humans. *Am. J. Physiol.*, 1994, vol. 266, no. 2, pt. 2, pp. H693–H701.

19. Vlachopoulos C., Kosmopoulou F., Alexopoulos N., Ioakeimidis N., Siasos G., Stefanadis C. Acute Mental Stress Has a Prolonged Unfavorable Effect on Arterial Stiffness and Wave Reflections. *Psychosom. Med.*, 2006, vol. 68, no. 2, pp. 231–237.

20. Di Francescomarino S., Sciarilli A., Di Valerio V., Di Baldassarre A., Gallina S. The Effect of Physical Exercise on Endothelial Function. *Sports Med.*, 2009, vol. 39, no. 10, pp. 797–812.

DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.205

Andrey A. Mel'nikov*

*Yaroslavl Higher Military School of Counter-Air Defence
(Yaroslavl, Russian Federation)

AUTONOMIC REGULATION OF CARDIAC ACTIVITY DURING MENTAL CALCULATION IN ATHLETES

The study investigated the autonomic regulation of the circulatory system (central haemodynamics (CHD) and heart rate variability (HRV)) during mental calculation in young athletes ($n = 95$) of different specializations with a long training experience (8.0 ± 3.5 years). Indicators of central haemodynamics (stroke volume, cardiac output) and HRV (standard deviation of NN intervals (SDNN), low frequency (LF) and (HF) power, LF/HF ratio, stress index) were determined simultaneously using impedance cardiography (Medass company, Russia) before and during mental calculation ("500 – 7") in supine position. It was established that at rest as well as during mental calculation, athletes had lower heart rate, total peripheral resistance, and diastolic and mean arterial pressure, while they had higher stroke volume, cardiac output, arterial compliance index, and HRV (SDNN, LF, HF) than the control group ($n = 61$). The CHD and HRV indicators during mental calculation correlated with the

physical working capacity index PWC170. The increase in diastolic arterial pressure ($p = 0.012$), SDNN ($p = 0.064$) and LF ($p = 0.054$) in athletes during calculation was larger, while the decrease in stroke volume ($p = 0.025$) and, especially, in arterial compliance ($p < 0.00002$) was smaller, compared to the control group. PWC170 index in the united group ($n = 156$) correlated with the changes in arterial compliance ($r = 0.252$, $p = 0.002$). Thus, cardiac activity in athletes during psycho-emotional stress caused by mental calculation was characterized by greater efficiency of cardiac haemodynamics, increased HRV, as well as a less significant reduction in arterial compliance, indicating higher tolerance to psycho-emotional stress. The obtained data allow us to consider regular exercises to be an important measure preventing the development of various disorders of the circulatory system caused by psycho-emotional stress.

Keywords: *cardiac haemodynamics, heart rate variability, mental arithmetic, psycho-emotional stress, athletes.*

Поступила 10.01.2019

Принята 21.02.2019

Received 10 January 2019

Accepted 21 February 2019

Corresponding author: Andrey Mel'nikov, *address:* prosp. Moskovskiy 28, Yaroslavl, 150001, Russian Federation; *e-mail:* meln1974@yandex.ru

For citation: Mel'nikov A.A. Autonomic Regulation of Cardiac Activity During Mental Calculation in Athletes. *Journal of Medical and Biological Research*, 2019, vol. 7, no. 2, pp. 205–215. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.205