

# АДАПТАЦИОННАЯ РЕАКЦИЯ СЕРДЦА И ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО СОСУДИСТОГО РУСЛА НА ОДНОКРАТНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 616–003.96:612.7.001.57:611.12+611.13/.16

Поступила 19.11.2014 г.



**О.В. Бирюкова**, д.б.н., профессор кафедры нормальной анатомии;  
**Н.А. Баранов**, к.б.н., старший научный сотрудник проблемной научной группы адаптационной морфологии;  
**Т.И. Васягина**, к.б.н., старший научный сотрудник отдела электронной микроскопии ЦНИЛ

Нижегородская государственная медицинская академия, Н. Новгород, 603005, пл. Минина и Пожарского, 10/1

**Цель исследования** — оценка показателей срочной адаптации сердца и периферического сосудистого русла к однократным двигательным нагрузкам для определения индивидуально безопасной величины двигательной активности.

**Материалы и методы.** Исследование проведено на 84 беспородных собаках-самцах. Для моделирования физической нагрузки в лабораторных условиях использовали бег на тредмилле. В эксперименте применяли три вида нагрузок: малые, оптимальные и избыточные. Длительность нагрузки дозировали индивидуально для каждого животного, учитывая состояние кардиореспираторной системы по частоте сердечных сокращений. Работу сердца оценивали методами эхокардиографии и электрокардиографии, периферическое кровообращение — по реовазограмме задней конечности.

**Результаты.** Экспериментальные данные указывают на существенные перестройки в проводящей системе сердца под воздействием однократных физических нагрузок. Однократная малая нагрузка вызывает увеличение минутного выброса крови за счет прироста частоты сердечных сокращений. Кровенаполнение мышц задней конечности снижается. Нагрузка оптимальной величины приводит к увеличению минутного выброса за счет роста ударного объема крови. Сократительная способность миокарда увеличивается. Кровенаполнение мышц возрастает. При нагрузке избыточной величины повышение ударного выброса сопровождается дилатацией полости левого желудочка. Происходит снижение пульсового кровенаполнения, падение эластичности периферического сосудистого русла и ухудшение венозного оттока от мышц задней конечности.

**Заключение.** Срочная адаптация сердца и периферического сосудистого русла при однократных двигательных нагрузках проявляется в виде отчетливой реакции на моделируемый фактор. Подход к оценке адаптации организма с учетом признаков состояния сердечно-сосудистой системы позволяет рассчитать индивидуальный объем двигательной нагрузки и разработать рекомендации для ее рационального использования в медицине.

**Ключевые слова:** адаптационные реакции сердца; физические нагрузки; тредмилл-тест.

## English

## Adaptive Response of the Heart and Peripheral Vasculature on Single Physical Exercises in Experiment

**O.V. Biryukova**, DSc, Professor, Department of Normal Anatomy;  
**N.A. Baranov**, PhD, Senior Researcher, Problem Scientific Group of Adaptation Morphology;  
**T.I. Vasyagina**, PhD, Senior Researcher, Electron Microscopy Unit, Central Scientific Research Laboratory

Nizhny Novgorod State Medical Academy, 10/1 Minin and Pozharsky Square, Nizhny Novgorod, 603005, Russian Federation

**The aim of the investigation** was to assess the parameters of urgent adaptation of the heart and peripheral vasculature to single physical exercises to determine an individually safe value of motor activity.

**Materials and Methods.** The experiments were carried out on 84 mongrel male dogs. Physical exercises were modeled in laboratory environment by treadmill run. Three types of exercises were used in the experiment: mild, optimal and excessive. Exercise duration was controlled individually, for each animal considering cardio-respiratory system state by heart rate. Cardiac work was assessed by echocardiography and electrocardiography, peripheral circulation — by hindleg rheovasogram.

**Для контактов:** Васягина Татьяна Ивановна, e-mail: tvasyagina@yandex.ru

**Results.** Experimental findings indicate significant alterations in cardiac conducting system under single physical exercises. A single mild exercise causes the increase of minute blood output due to heart rate increase. Hind leg muscular blood filling decreases. An optimal exercise results in minute blood output increase due to stroke blood volume growth. Myocardial contractility increases. Muscular blood filling rises. In excessive load increased stroke output is accompanied by left ventricular cavity dilatation. Pulse volume decreases, peripheral vasculature elasticity reduces, and hind leg muscular venous outflow gets worse.

**Conclusion.** Urgent adaptation of the heart and peripheral vasculature in single physical exercises shows as a marked response to a simulated factor. The technique to assess the body adaptation considering cardiovascular system condition enables to calculate individual volume of physical activity and develop recommendations for it to be used efficiently in medicine.

**Key words:** cardiac adaptive responses; physical exercises; treadmill test.

В настоящее время накоплен богатый фактический материал о положительных и отрицательных изменениях в организме, вызываемых физическими нагрузками [1–5 и др.]. Большая часть исследований посвящена изучению систематических физических нагрузок, длительных циклов тренировок. Однако интенсивная двигательная активность дает положительный эффект только при рациональном использовании. Среди причин, лимитирующих процесс адаптации к гиперкинезии, основной является несоответствие морфофункциональных особенностей сердца и сосудов величине физической нагрузки и в связи с этим — нарушение темпов формирования специфических изменений [6]. Транспорт кислорода из окружающей среды к работающим мышцам осуществляется комплексом систем и органов, объединяемых в некоторую условную кардиореспираторную систему, или систему транспорта кислорода. Каждое звено этой системы может определять достаточность транспорта кислорода при нагрузке, однако в реальных условиях главным лимитирующим звеном в системе транспорта кислорода при интенсивной мышечной работе является кровообращение [7].

Однократные нагрузочные пробы, или стресс-тесты, широко применяются для диагностики состояния кардиореспираторной системы при профессиональном отборе для работы в экстремальных условиях [8], в различных видах спорта [9–12], для определения функционального резерва органов и систем [13, 14], а также в реабилитационной медицине и кардиологии [15, 16]. Однако остаются нерешенными вопросы, связанные с определением индивидуально безопасной величины двигательной активности и ранней диагностикой состояний перенапряжения и перегрузки.

**Цель исследования** — оценка показателей срочной адаптации сердца и периферического сосудистого русла к однократным двигательным нагрузкам для определения индивидуально безопасной величины двигательной активности.

**Материалы и методы.** Исследование выполнено на 84 беспородных собаках-самцах в возрасте от 1,5 до 3 лет, массой от 10 до 15 кг. При проведении экспериментов соблюдались все этические принципы, установленные Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей (принятой 18.03.1986 г. и подтвержденной 15.06.2006 г. в Страсбурге).

В работе изучались следующие однократные нагрузки: малой величины (легкие) — 23 животных, оптимальные (умеренные) — 37 животных и избыточные (тяжелые) — 24 животных. Легкая нагрузка наиболее часто встречается в повседневной жизни, однако влияние ее на организм мало исследуется. Нагрузка оптимальной величины используется как основная для тренировки на выносливость, избыточная часто применяется в олимпийском и профессиональном спорте для определения функциональных возможностей организма.

Для моделирования физической нагрузки в лабораторных условиях использовали бег на тредмилле. Состояние организма во время физической нагрузки достаточно легко диагностировать по динамике частоты сердечных сокращений (ЧСС) и частоты дыхания [17], поэтому длительность бега дозировали индивидуально для каждого животного, учитывая функциональное состояние кардиореспираторной системы (см. рисунок). Запись ЧСС и частоты дыхания в процессе нагрузки осуществляли один раз в минуту на 4-канальном электроэнцефалографе ЭЭГ-1 (Россия).

Запись эхокардиограммы (эхоКГ) выполняли при помощи эхокардиографа ЭКС-М-02 (Россия). Работа проводилась в режиме М-сканирования. Анализировали следующие показатели левого желудочка (ЛЖ): систолическую и диастолическую толщину задней стенки, процент прироста систолического утолщения задней стенки ЛЖ, систолический и диастолический объем, ударный и минутный выброс, фракцию изгнания, массу миокарда ЛЖ, скорость циркулярного сокращения миокарда.

Периферическое кровообращение у собак оценивали по реовазограмме задней конечности, запись которой осуществляли при помощи реографа РГ4–01 (Украина). Измеряли следующие параметры: амплитуду систолической и диастолической волны; время максимального, быстрого и медленного наполнения; время цикла. Исходя из данных параметров рассчитывались следующие показатели:

1. Реографический индекс (*PII*) — отношение амплитуды систолической волны (*A*) к величине калибровочного сигнала (*n*). Характеризует пульсовое кровенаполнение органа:  $PII=A/n$ .

2. Амплитудно-частотный показатель (*AЧП*) — отношение *PII* к расстоянию между зубцами *R* на электрокардиограмме. Характеризует величину объемного

кровотока в исследуемой области за период времени:  $AЧП=PI/RR$ .

3. Диастолический индекс (ДСИ) — отношение величины амплитуды диастолической волны (В) к величине амплитуды систолической волны (А). Характеризует соотношение артериального и венозного кровотока:  $ДСИ=В/А$ .

4. Индекс максимального наполнения (Имакс.н) — отношение времени максимального наполнения (Е) к времени цикла (Т). Характеризует тонус приносящих сосудов:  $Имакс.н=Е/Т$ .

5. Индекс быстрого наполнения (ИБН) — отношение времени быстрого наполнения (С) к времени цикла (Т). Характеризует тонус крупных приносящих сосудов. Время С рассчитывается при помощи дифференциальной реограммы по проекции ее вершины на реовазограмму:  $ИБН=С/Т$ .

6. Индекс медленного наполнения (ИМН) — отношение времени медленного наполнения (D) к времени цикла. Отражает тонус мелких приносящих сосудов:  $ИМН=D/Т$ .

Запись эхокардиограммы и реовазограммы проводили непосредственно перед бегом и сразу после окончания бега.

Статистическую обработку данных выполняли с помощью программного обеспечения Statistica 10.0. Для сравнения двух групп из совокупностей с нормальным распределением использовали t-критерий Стьюдента.

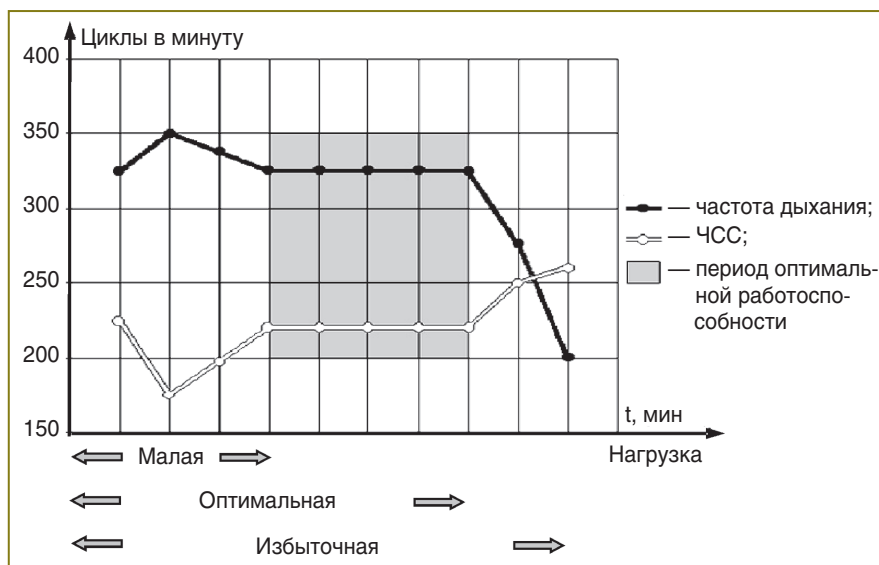


Схема приспособительной реакции кардиореспираторной системы при однократных дозированных двигательных нагрузках

Статистически значимыми считали различия данных при  $p < 0,05$ .

**Результаты.** Экспериментально установлено, что значения длительности малой нагрузки находятся в пределах  $8,1 \pm 0,6$  мин. Средняя частота дыхания равнялась  $280,3 \pm 12,8$  циклов в минуту. Средняя ЧСС в течение нагрузки составляла  $207,6 \pm 9,6$  в минуту. После нагрузки она превышала исходное значение на 26,0%, средний минутный выброс ЛЖ вырос на 47,2%, а средняя скорость систолического утолщения миокарда снизилась на 17,5% (табл. 1). По данным реовазограммы (табл. 2) после легкой однократной нагрузки реографический индекс и амплитудно-частотный показатель

Таблица 1  
Показатели эхокардиограммы при однократных физических нагрузках ( $\bar{x} \pm Sx$ )

Показатели эхокардиограммы	Исходный уровень	Величина нагрузки			
		малая	оптимальная	избыточная	
Толщина задней стенки ЛЖ, см	систолическая	1,12±0,03	1,15±0,03	1,35±0,04*	1,24±0,04
	диастолическая	0,78±0,02	0,80±0,03	0,82±0,03	0,75±0,02
Процент прироста систолического утолщения задней стенки ЛЖ, %		40,8±2,2	44,5±2,4	66,5±5,2*	65,0±4,1*
Объем ЛЖ, мл	систолический	10,6±0,8	9,3±1,5	5,0±1,1*	11,6±1,5
	диастолический	31,9±2,1	33,7±3,3	30,8±4,1	41,8±3,4*
Выброс ЛЖ, мл	ударный	21,3±1,5	24,4±2,2	25,8±3,6	30,2±2,2*
	минутный	2042±180	3005±372*	3121±522*	4653±469*
Скорость циркулярного сокращения миокарда, см/с		1,14±0,04	1,21±0,07	1,65±0,10*	1,48±0,08*
Средняя скорость систолического утолщения миокарда, см/с		1,20±0,06	0,99±0,04*	1,70±0,11	1,73±0,12
Фракция изгнания, %		69,0±1,6	74,4±2,7	84,1±2,5*	73,6±1,9

\* — статистически значимая разница значений с исходными данными,  $p < 0,05$ .

Т а б л и ц а 2

Показатели реовазограммы при однократных физических нагрузках ( $\bar{x} \pm Sx$ )

Показатели реовазограммы	Исходный уровень	Величина нагрузки		
		малая	оптимальная	избыточная
Реографический индекс, %	2,54±0,20	1,73±0,25*	3,32±0,41	1,46±0,27*
Амплитудно-частотный показатель, %	4,06±0,33	2,92±0,40*	5,63±0,67*	3,78±0,83
Диастолический индекс, %	49,70±1,27	54,80±1,93*	52,80±1,74	57,30±2,90*
Время цикла, с	0,59±0,01	0,55±0,02*	0,55±0,02	0,41±0,02*
Индекс максимального наполнения, %	15,60±0,49	15,60±0,82	15,10±0,64	19,40±1,05*
Индекс быстрого наполнения, %	10,60±0,33	10,20±0,57	9,80±0,52	12,30±0,76
Индекс медленного наполнения, %	5,00±0,26	5,40±0,35	5,30±0,35	7,20±0,67*

\* — статистически значимая разница значений с исходными данными,  $p < 0,05$ .

снизились на 31,9 и 28,1% соответственно, время цикла уменьшилось на 6,7%, диастолический индекс увеличился на 10,3%.

Длительность оптимальной нагрузки составляла  $20,0 \pm 1,9$  мин. Средняя ЧСС в течение нагрузки была  $202,8 \pm 5,1$  в минуту, а после оптимальной нагрузки превышала исходное значение на 24,0%. Средняя частота дыхания равнялась  $296,8 \pm 7,4$  цикла в минуту. Систолическая толщина миокарда увеличилась на 20,5%, значение минутного выброса — на 52,8%, фракции изгнания — на 21,9% (см. табл. 1). Возрастали процент прироста и средняя скорость систолического утолщения задней стенки ЛЖ — на 63,0 и 41,7% соответственно. На 44,7% повышалась скорость циркулярного сокращения миокарда, при этом снижался систолический объем на 52,8% и размер полости ЛЖ в систолу — на 25,3% от исходных значений. Общая эластичность сосудов оставалась на том же уровне, что и при малой нагрузке. Амплитудно-частотный показатель увеличивался на 38,0% по сравнению с исходным значением (см. табл. 2).

Величина избыточной нагрузки (до отказа от бега) у животных сильно варьировала как по длительности бега — от 10 до 358 мин, так и по выраженности реакции со стороны сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Среднее значение ЧСС за время бега составляло  $207,7 \pm 6,3$  в минуту при индивидуальном разбросе от 158 до 261 в минуту. Средняя частота дыхания равнялась  $298,4 \pm 7,0$  в минуту при индивидуальных вариантах от 190 до 350 в минуту. К моменту отказа животных от бега наблюдалось резкое повышение ЧСС — на 58,7% от исходного уровня и на 35,3% от уровня оптимальной нагрузки. Только в данном эксперименте было обнаружено увеличение размера полости ЛЖ — на 9,3% от исходного, на предыдущих этапах нагрузки отмечалась обратная реакция. Диастолический объем ЛЖ превышал исходный уровень на 31,0%. Ударный выброс увеличивался на 41,8%. Резко возрастал минутный выброс (превышение исходного уровня составляло 127,9%, а уровня оптимальной нагрузки — 75,1%). Систолическая толщина задней стенки была заметно снижена по сравнению с аналогичным показателем

при оптимальной нагрузке, который превышал уровень покоя только на 10,7%. Длительность сокращения задней стенки ЛЖ снижалась на 17,1% от исходного значения, скорость циркулярного сокращения миокарда по сравнению с оптимальной нагрузкой — на 14,9%, но при этом превышала исходный уровень на 29,8%. Процент прироста и средняя скорость систолического утолщения задней стенки, а также масса миокарда ЛЖ оставались на уровне оптимальной нагрузки.

Избыточная физическая нагрузка приводила к статистически значимому снижению реографического индекса — на 42,3% по сравнению с исходным уровнем, в то время как при оптимальной нагрузке был зарегистрирован рост данного показателя (см. табл. 2). Резко снижалась эластичность сосудистого русла мышц задней конечности — время цикла реографической волны сокращалось на 30,5%. Диастолический индекс повышался на 15,3%. Интересно отметить, что только при избыточной нагрузке наблюдалось повышение индекса максимального наполнения — на 24,4% от исходного значения. Индексы быстрого и медленного наполнения возрастали на 16,0 и 44,0% соответственно.

**Обсуждение.** Анализ полученных результатов позволяет предположить, что при двигательной нагрузке малой величины возникает срочная неэффективная реакция сердечно-сосудистой системы: потребность организма в повышенном кровоснабжении удовлетворяется возрастанием минутного выброса, однако это увеличение достигается в значительной мере за счет роста ЧСС. Таким образом, в увеличении выброса крови сердцем на данном этапе нагрузки большую роль играет центральный контур регуляции сердечной деятельности. Внутрисердечные механизмы еще не мобилизованы или находятся в стадии активации. Однако нельзя недооценивать наличия механоэлектрической обратной связи в сердце [18]. Снижение кровенаполнения мышц задней конечности, по всей вероятности, связано с запаздыванием реакции на нагрузку местной регуляции. Происходит повышение тонуса мелких приносящих сосудов, снижение кровенаполнения, что можно объяснить воздействием симпатического контура регуляции.

При нагрузке оптимальной величины включаются внутрисердечные механизмы интенсификации сердечной деятельности: происходит более полное изгнание крови из ЛЖ, за счет роста ударного выброса увеличивается минутный выброс, значительно возрастает сократительная способность миокарда. В сосудистом русле наблюдаются признаки оптимизации кровообращения: усиливается кровоснабжение мышц задней конечности, улучшается эвакуация крови из венозного русла. По данным авторов [19–21], дилатация сосудов мышц осуществляется последовательно: вначале — мелких, затем — более крупных. В связи с этим можно предположить, что при оптимальной нагрузке происходит расширение капилляров, прекапилляров и частично — артериол.

После нагрузки избыточной величины происходит увеличение ударного выброса (в 2 раза по сравнению с данным параметром при оптимальной нагрузке), связанное с развившейся к этому моменту выраженной дилатацией ЛЖ. При сниженной сократительной способности миокарда развитие дилатации представляет собой компенсаторную реакцию, направленную на поддержание ударного выброса. Механизм данного явления подробно изложен в работе [22]. Эффект достигается путем снижения тонуса миокарда в диастолу. Это позволяет сильнее растягиваться стенкам ЛЖ и вмещать большее количество крови для последующего выброса в кровеносное русло [23].

При избыточной нагрузке не срабатывает закон Франка–Старлинга, т.е. на возросшее растяжение миокарда не возникает реакции усиления сокращения, о чем свидетельствует низкий процент прироста систолического утолщения задней стенки ЛЖ по сравнению с оптимальной нагрузкой. Таким образом, при слишком сильном растяжении происходит ослабление силы сокращения. Как и при нагрузке малой величины, усиливается экстракардиальная регуляция деятельности сердца.

По данным Г.В. Коробейникова и А.А. Приймакова [24], на этапе субмаксимальных нагрузок доминирует влияние симпатической нервной системы на синусно-предсердный узел сердца и снижается — парасимпатической. Усиление центральной регуляции также может служить признаком дискоординации внутрисердечных механизмов регуляции и попытки компенсации организмом этих нарушений [25, 26].

Таким образом, проведенные исследования срочной адаптации сердца и периферического сосудистого русла к однократным двигательным нагрузкам выявили отчетливую реакцию на моделируемый фактор. Экспериментальные данные указывают на существенные перестройки в проводящей системе сердца под воздействием однократных физических нагрузок, что требует дальнейших комплексных морфофункциональных исследований.

**Заключение.** Подход к оценке адаптации организма с учетом показателей состояния сердечно-сосудистой системы позволяет провести расчет индивидуальной величины однократной двигательной нагрузки и разработать рекомендации для ее рационального использо-

вания в спортивной, авиационной и реабилитационной медицине.

**Финансирование исследования.** Исследование выполнено по плану НИР НижГМА.

**Конфликт интересов.** Конфликты интересов, связанные с данным исследованием, отсутствуют.

## Литература

1. Белоцерковский З.Б., Любина Б.Г., Койдинова Г.А. Особенности сердечной деятельности и физическая работоспособность у спортсменов с изменениями процесса реполяризации желудочков сердца. Физиология человека 2009; 35(1): 90–100.
2. Laughlin M.H., Bowles D.K., Duncker D.J. The coronary circulation in exercise training. Am J Physiol Heart Circ Physiol 2012; 302(1): H10–H23, <http://dx.doi.org/10.1152/ajpheart.00574.2011>.
3. Dzhelebov P.V., Gundasheva D.I., Andonova M.J., Mihaylov R.M., Slavov E.P. Effects of experimental prolonged strenuous exercise on haematological parameters in dogs. Bulg J Vet Med 2009; 12(2): 112–118.
4. Corrado D., Basso C., Thiene G. Pros and cons of screening for sudden cardiac death in sports. Heart 2013; 99(18): 1365–1373, <http://dx.doi.org/10.1136/heartjnl-2012-302160>.
5. Rovira S., Munoz A., Benito M. Effect of exercise on physiological, blood and endocrine parameters in search and rescue-trained dogs. Veterinarni Medicina 2008; 53(6): 333–346.
6. Агаджанян М.Г. Электрокардиографические проявления хронического физического перенапряжения у спортсменов. Физиология человека 2005; 31(6): 60–64.
7. Карпман В.Л. Сердечно-сосудистая система и транспорт кислорода при мышечной работе: актовая речь. В кн.: Клинико-физиологические характеристики сердечно-сосудистой системы у спортсменов. М; 1994; с. 12–39.
8. Панченко Л.Ф., Боченков А.А., Чермянин С.В., Суин П.А., Фесюн А.Д. Нервно-эмоциональное напряжение летного состава авиации внутренних войск МВД России при полетах в сложных метеорологических условиях. Вестник ОГУ 2013; 155(6): 6–9.
9. Гайдаш И.С., Капустина Е.В. Влияние однократных физических нагрузок на фагоцитарную активность нейтрофилов и моноцитов крови спортсменов. Загальна патологія та патологічна фізіологія 2013; 8(1): 192–197.
10. Venckunas T., Lionikas A., Marcinkeviciene J.E., Raugaliene R., Alekrinskas A., Stasiulis A. Echocardiographic parameters in athletes of different sports. J Sports Sci Med 2008; 7(1): 151–156.
11. Neilan T.G., Ton-Nu T.T., Jassal D.S., Popovic Z.B., Douglas P.S., Halpern E.F., Marshall J.E., Thomas J.D., Picard M.H., Yoerger D.M., Wood M.J. Myocardial adaptation to short-term high-intensity exercise in highly trained athletes. J Am Soc Echocardiogr 2006; Oct 19(10): 1280–1285, <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2006.05.001>.
12. Кудря О.Н., Кирьянова М.А., Капилевич Л.В. Особенности периферической гемодинамики спортсменов при адаптации к нагрузкам различной направленности. Бюллетень сибирской медицины 2012; 3: 48–53.
13. Иорданская Ф.А. Корреляционный анализ показателей адаптации с возможными факторами риска сердечно-

сосудистой системы при обеспечении работоспособности у спортсменов. Вестник спортивной науки 2010; 5: 25–30.

14. Antelmi I., Chuang E.Y., Grupi C.J., Latorre M. do R.D. de O., Mansur A.J. Heart rate recovery after treadmill electrocardiographic exercise stress test and 24-hour heart rate variability in healthy individuals. *Arq Bras Cardiol* 2008; 90(6): 380–385, <http://dx.doi.org/10.1590/s0066-782x2008000600005>.

15. Лямина Н.П., Котельникова Е.В., Бизяева Е.А., Карпова Э.С. Подходы, потенцирующие кардиопротективный эффект внестационарных физических тренировок, у больных ишемической болезнью сердца после коронарного стентирования при многососудистом поражении. *Кардиология* 2014; 54(10): 19–25.

16. Akdur H., Yigit Z., Arabaci U., Polat M.G., Gürses H.N., Güzelsoy D. Comparison of cardiovascular responses to isometric (static) and isotonic (dynamic) exercise tests in chronic atrial fibrillation. *Jpn Heart J* 2002; 43(6): 621–629, <http://dx.doi.org/10.1536/jhj.43.621>.

17. Сорокин А.П., Вазин А.Н., Бирюкова О.В. Способ определения момента наступления полной адаптированности организма к физической нагрузке. Авторское свидетельство СССР 665888. 1979.

18. Kamkin A., Kiseleva I., Lozinsky I., Scholz H. Electrical interaction of mechanosensitive fibroblasts and myocytes in the heart. *Basic Res Cardiol* 2005; 100(4): 337–345.

19. Скардс Я.В., Паэглилис А.О., Матисоне Д.Р. Последовательная дилатация сосудов сопротивления и магистральных артерий предплечья во время рабочей и реактивной гиперемии. В кн.: Кровообращение в скелетных мышцах. Рига; 1991; с. 93–105.

20. Delp MD, O'Leary D.S. Integrative control of the skeletal muscle microcirculation in the maintenance of arterial pressure during exercise. *J Appl Physiol* (1985) 2004; 97(3): 1112–1118.

21. Яхонтов С.В., Кулемзин А.В., Чуфистова О.Н. Механизмы и факторы взаимодействия звеньев сердечно-сосудистой системы при переходных процессах (аналитический обзор, часть 1). Вестник ТГПУ 2010; 3(93): 149–155.

22. Капелько В.И. Диастолическая дисфункция. *Кардиология* 2011; 51(1): 79–90.

23. Мукумов М.Р., Ляхович Ю.С., Курчиков А.Л., Белая М.Л., Пратусевич В.Р. Зависимость ритмоинotropии миокарда от степени растяжения. Физиологический журнал СССР им. И.М. Сеченова 1991; 77(10): 64–68.

24. Коробейников Г.В., Приймаков А.А. Вариабельность ритма сердца как физиологический механизм адаптации к условиям напряженной мышечной деятельности. Вестник Балтийской педагогической академии 2004; 56: 20–26.

25. Iellamo F. Neural control of the cardiovascular system during exercise. *Ital Heart J* 2001; 2(3): 200–212.

26. Mitchell J.H. Neural circulatory control during exercise: early insights. *Exp Physiol* 2013; 98(4): 867–878, <http://dx.doi.org/10.1113/expphysiol.2012.071001>.

**References**

1. Belotserkovskiy Z.B., Lyubina B.G., Koydinova G.A. Cardiac activity characteristics and physical performance in athletes with modified cardiac ventricular repolarization. *Fiziologiya cheloveka* 2009; 35(1): 90–100.

2. Laughlin M.H., Bowles D.K., Duncker D.J. The coronary circulation in exercise training. *Am J Physiol Heart Circ*

*Physiol* 2012; 302(1): H10–H23, <http://dx.doi.org/10.1152/ajpheart.00574.2011>.

3. Dzhelebov P.V., Gundasheva D.I., Andonova M.J., Mihaylov R.M., Slavov E.P. Effects of experimental prolonged strenuous exercise on haematological parameters in dogs. *Bulg J Vet Med* 2009; 12(2): 112–118.

4. Corrado D., Basso C., Thiene G. Pros and cons of screening for sudden cardiac death in sports. *Heart* 2013; 99(18): 1365–1373, <http://dx.doi.org/10.1136/heartjnl-2012-302160>.

5. Rovira S., Munoz A., Benito M. Effect of exercise on physiological, blood and endocrine parameters in search and rescue-trained dogs. *Veterinari Medicina* 2008; 53(6): 333–346.

6. Agadzhanyan M.G. Electrocardiographic manifestations of athletic overexertion in athletes. *Fiziologiya cheloveka* 2005; 31(6): 60–64.

7. Karpman V.L. Serdechno-sosudistaya sistema i transport kisloroda pri myshechnoy rabote: aktovaya rech'. V kn.: *Kliniko-fiziologicheskie kharakteristiki serdechno-sosudistoy sistemy u sportsmenov* [Cardiovascular system and oxygen transport in muscular activity: commencement address. In: Clinical medical characteristics of cardiovascular system in athletes]. Moscow; 1994; p. 12–39.

8. Panchenko L.F., Bochenkov A.A., Chermianin S.V., Suin P.A., Fesyun A.D. Nervous and emotional tension of the flight personnel of the internal army aviation airplanes of Russian Ministry of Internal Affairs during night flights in difficult weather conditions. *Vestnik OGU* 2013; 155(6): 6–9.

9. Gaydash I.S., Kapustina E.V. The effect of single physical exercises on phagocytic rate of neutrophils and monocytes in blood of athletes. *Zagal'na patologija ta patologichna fiziologija* 2013; 8(1): 192–197.

10. Venckunas T., Lionikas A., Marcinkeviciene J.E., Raugaliene R., Alekrinskas A., Stasiulis A. Echocardiographic parameters in athletes of different sports. *J Sports Sci Med* 2008; 7(1): 151–156.

11. Neilan T.G., Ton-Nu T.T., Jassal D.S., Popovic Z.B., Douglas P.S., Halpern E.F., Marshall J.E., Thomas J.D., Picard M.H., Yoerger D.M., Wood M.J. Myocardial adaptation to short-term high-intensity exercise in highly trained athletes. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; 19(10): 1280–1285, <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2006.05.001>.

12. Kudrya O.N., Kiriyanova M.A., Kapilevich L.V. Characteristics of peripheral hemodynamics athletes with loads of adaptation to a different direction. *Byulleten' sibirskoy meditsiny* 2012; 3: 48–53.

13. Iordanskaya F.A. Correlation analysis of adaptive parameters with possible risk factors of cardiovascular system in performance assurance in athletes. *Vestnik sportivnoy nauki* 2010; 5: 25–30.

14. Antelmi I., Chuang E.Y., Grupi C.J., Latorre M. do R.D. de O., Mansur A.J. Heart rate recovery after treadmill electrocardiographic exercise stress test and 24-hour heart rate variability in healthy individuals. *Arq Bras Cardiol* 2008; 90(6): 380–385, <http://dx.doi.org/10.1590/s0066-782x2008000600005>.

15. Lyamina N.P., Kotelnikova E.V., Bisyayeva E.A., Karpova E.S. Approaches potentiating cardioprotective effect of ambulatory physical training in patients with ischemic heart disease and multivessel coronary artery involvement after coronary stenting. *Kardiologiya* 2014; 54(10): 19–25.

16. Akdur H., Yigit Z., Arabaci U., Polat M.G., Gürses H.N.,

Güzelsoy D. Comparison of cardiovascular responses to isometric (static) and isotonic (dynamic) exercise tests in chronic atrial fibrillation. *Jpn Heart J* 2002; 43(6): 621–629, <http://dx.doi.org/10.1536/jhj.43.621>.

17. Sorokin A.P., Vazin A.N., Biryukova O.V. *Sposob opredeleniya momenta nastupleniya polnoy adaptirovannosti organizma k fizicheskoy nagruzke* [The way to determine the time of complete adaptation of the body to physical exercise]. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR 665888 [USSR author's certificate 665888]. 1979.

18. Kamkin A., Kiseleva I., Lozinsky I., Scholz H. Electrical interaction of mechanosensitive fibroblasts and myocytes in the heart. *Basic Res Cardiol* 2005; 100(4): 337–345.

19. Skards Ya.V., Paeglitis A.O., Matisone D.R. Posledovatel'naya dilatatsiya sudov soprotivleniya i magistral'nykh arteriy predplech'ya vo vremya rabochey i reaktivnoy giperemii. V kn.: *Krovoobrashchenie v skeletnykh myshtsakh* [Sequential dilatation of resistance vessels and major arteries of the forearm during functional and reactive hyperemia. In: Circulation in skeletal muscles]. Riga; 1991; p. 93–105.

20. Delp MD, O'Leary D.S. Integrative control of the

skeletal muscle microcirculation in the maintenance of arterial pressure during exercise. *J Appl Physiol (1985)* 2004; 97(3): 1112–1118.

21. Yahontov S.V., Kulemzin A.V., Chufistova O.N. Mechanisms and factors link interaction cardiovascular system transient (analytical review, part 1). *Vestnik TGPU* 2010; 3(93): 149–155.

22. Kapelko V.I. Diastolic dysfunction. *Kardiologiya* 2011; 51(1): 79–90.

23. Mukumov M.R., Liakhovich Yu.S., Kurchik A.L., Belaya M.L., Pratushevich V.R. The length-dependence of the force-frequency relations in the rat myocardium. *Fiziologicheskiy zhurnal SSSR im. I.M. Sechenova* 1991; 77(10): 64–68.

24. Korobeynikov G.V., Priymakov A.A. Heart rate variability as physiological mechanism to adapt for strenuous muscular activity conditions. *Vestnik Baltiyskoy pedagogicheskoy akademii* 2004; 56: 20–26.

25. Iellamo F. Neural control of the cardiovascular system during exercise. *Ital Heart J* 2001; 2(3): 200–212.

26. Mitchell J.H. Neural circulatory control during exercise: early insights. *Exp Physiol* 2013; 98(4): 867–878, <http://dx.doi.org/10.1113/expphysiol.2012.071001>.