

СОСУДИСТАЯ НАГРУЗКА СЕРДЦА У СПОРТСМЕНОВ ВО ВРЕМЯ И ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ
МЫШЕЧНОЙ РАБОТЫ

В.Р. ОРЕЛ, А.В. МИХАЙЛОВА, А.Н. ГАЦУНАЕВ

*Российский государственный университет физической культуры, спорта молодежи и туризма,
Сиреневый б-р, д.4, Москва, 105122, Россия*

Аннотация. Проблеме исследования гипертензивных состояний человека в последние десятилетия уделяется большое внимание. Рассматриваются не только вопросы формирования, развития и способы лечения различных видов гипертонической болезни у разных групп населения, но также и гипертензивные эффекты, связанные со спортивной деятельностью. Все более важное значение придается изучению проблемы механизмов взаимодействия сердца и кровеносных сосудов как на уровне аортальной компрессионной камеры (АКК, *Windkessel*) О. Франка, так и на микроциркуляторном уровне (периферическое русло – периферическое сопротивление артериальной системы). Возрождается определенный интерес к исследованиям постваздушки (*afterload*) левого желудочка сердца с целью оценки ее влияния на производительность сердца, динамику сердечного выброса, а также ее воздействия на соответствующие уровни давления крови в артериальной системе и в левом желудочке сердца.

Эффекты адаптации сердечно-сосудистой системы при выполнении мышечной работы и после ее завершения характеризуются определенными согласованными изменениями комплекса показателей центральной гемодинамики, сосудистой нагрузки сердца и его сократимости. Совместные изменения показателей гемодинамики и показателей взаимодействия сердца и сосудов определяются функциональным состоянием испытуемого, а также мощностью работы, выполняемой соответствующими группами мышц.

В исследованиях на велоэргометре принимали участие 19 спортсменов. Они выполняли две нагрузки с мощностями 500 и 1000 кГм/мин. Каждая нагрузка длилась от 3 до 5 минут с десятиминутным восстановлением. Также исследовались 12 бегунов на средние дистанции, у которых параметры гемодинамики измерялись в покое и в ходе интервальной тренировки. Показано, что восстановление после окончания мышечной нагрузки происходит по несколько иному пути (в *RE*-плоскости), чем при самой работе, описывая некоторую петлю гистерезиса.

Ключевые слова: мышечная работа, сосудистые сопротивления, артериальное давление, спортсмены.

HEART VASCULAR LOAD IN ATHLETES DURING AND AFTER WORKOUT

V.R. OREL, A.V. MIHAILOVA, A.N. GATSUNAEV

*Russian State University Of Physical Culture, Youth Sports And Tourism,
Sireneviy str., 4, Moscow, 105122, Russia*

Abstract. The problem of the study of human hypertensive states received much attention in recent decades. We consider not only the issues of formation, development and methods for the treatment of various types of hypertension in different populations, but also the hypertensive effects associated with sports activities. More and more importance is given to the study of the problem of the mechanisms of interaction of the heart and blood vessels at the level of the aortic someone pressionnoy camera (ACC, *Windkessel*) O.Franka, and the microcirculatory level (peripheral direction. Peripheral resistance of the arterial system revived some interest in research afterload (afterload) of the left ventricle in order to assess its influence on the performance of the heart, cardiac output dynamics, and its effect on blood pressure level corresponding to the arterial system and the left ventricle.

Effects adaptation cardiovascular system during execution of muscular work and after the agreed changes are characterized by certain complex central hemodynamics, vascular and cardiac contractility load. Joint changes in hemodynamic parameters and cardiac and vascular interactions are determined by the functional state of the subject, as well as the capacity of the work performed by the relevant muscle groups.

In trials on a bicycle ergometer 19 athletes participated. they performed two load capacities of 500 and 1000 kgm / min. Each load lasted for 3 to 5 minutes with a ten-recover tion. Also studied 12 middle distance runners who measure-were hemodynamic parameters at rest and during interval training. It is

shown that the recovery from the muscle end of the load occurs at a slightly different way (in the re-plane) than the work itself, describing nekoto-rui hysteresis loop.

Key words: muscular work, vascular resistance, blood pressure, athletes.

Цель исследования – проследить адаптивные изменения сосудистых сопротивлений и показателей центральной гемодинамики при выполнении спортсменами дозированной мышечной работы неопредельной мощности.

Материалы и методы исследования. В исследованиях на велоэргометре принимали участие 19 спортсменов. Они выполняли две нагрузки (500 и 1000 кгГ/мин). Каждая нагрузка длилась от 3 до 5 минут с десятиминутным восстановлением. Также исследовались 12 бегунов на средние дистанции, у которых параметры гемодинамики измерялись в покое и в ходе интервальной тренировки.

Артериальное давление измерялось аускультативно. Непрерывно регистрировалась реограмма центрального пульса методом тетраполярной реографии [2]. Регистрация и расшифровка реограмм производилась программно-аппаратным комплексом РЕОДИН-504. Архивированные результаты содержали данные о ЧСС, ударном объеме крови, фазах сердечного цикла и артериальном давлении. *Эластическое* (Ea) и *периферическое* (R) сопротивления артериальной системы зависят [1, 4, 6, 7, 9, 14] от пяти показателей гемодинамики: Pd (ДАД) и Ps (САД) – диастолическое и систолическое артериальное давление; Qs (УО) – ударный объем крови; C , S – длительности сердечного цикла и периода изгнания соответственно.

По исследованиям центральной гемодинамики у спортсменов при динамических мышечных нагрузках дозированной мощности выполнено большое количество работ. Основные результаты получены в условиях установившихся режимов кровообращения [1, 3, 7, 9] спустя 2-3 минуты после начала педалирования на велоэргометре. Именно велоэргометр с ножным педалированием предоставляет возможность производить надежные измерения базальных показателей центральной гемодинамики: артериальное давление, ударный объем крови, фазы сердечного цикла [2, 3].

Показатели сосудистой нагрузки сердца (сосудистые сопротивления, артериальный импеданс) вычисляются по базальным данным с помощью специальных соотношений, полученных с помощью математического моделирования [4, 5, 7, 10, 12, 13, 18, 19, 22].

Исследования, выполненные в более широком диапазоне с учетом эффектов вработывания, показали, что возврат в исходное состояние испытуемого может происходить несколько иным путем, использующим гистерезисные явления [21].

В работах [8, 23] подчеркивается важность использования для оценки жесткости аорты неинвазивных измерений *скорости пульсовой волны* (СПВ). Также в работе [23] показано, что податливость АКК – величина, обратная эластическому сопротивлению [5, 7, 9, 15, 20] артериальной системы, которое определяется по модели АКК О. Франка [12, 14, 22], вполне адекватно отражает жесткостные характеристики аорты.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлены данные об одновременных изменениях сосудистых сопротивлений артериальной системы в ходе выполнения 1-й велоэргометрической нагрузки.

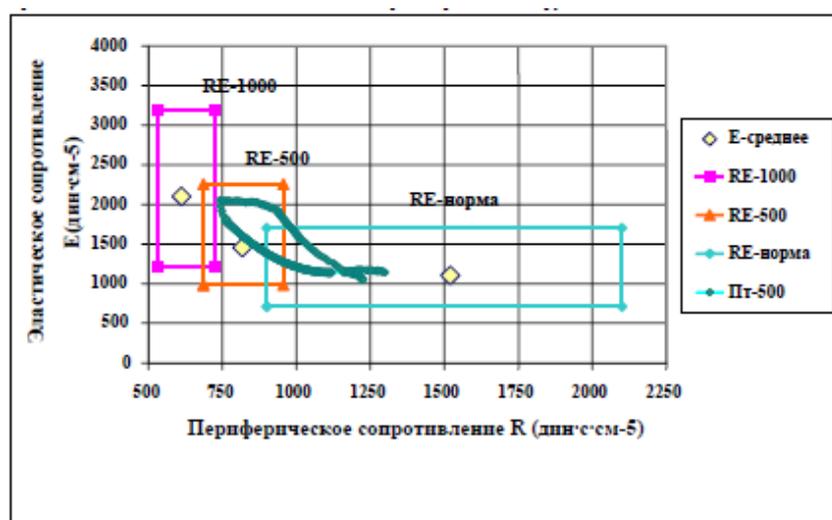


Рис. 1. RE-петля при работе на велоэргометре с $N=500$ кг/мин

Соответствующие *RE*-точки образуют (рис.1) некоторую замкнутую петлю, верхняя часть которой расположена в *RE*-области, отвечающей данным установившегося режима работы на велоэргометре с мощностью 500 кГм/мин.

Нижняя ветвь петли (рис.1) отвечает вработыванию и устойчивому выполнению мышечной работы с мощностью 500 кГм/мин. Верхняя ветвь петли (рис.1) отвечает прекращению физической нагрузки и возвращению системы кровообращения в исходное состояние. Важно подчеркнуть, что процесс восстановления на *RE*-диаграмме (рис.1) характеризуется повышенными величинами эластического сопротивления при одинаковых значениях величин периферического сопротивления (восстановление проходит именно по верхней ветви петли).

На рис. 2 представлены данные об изменениях периферического и эластического сопротивлений артериальной системы в ходе выполнения 2-й велоэргометрической нагрузки.

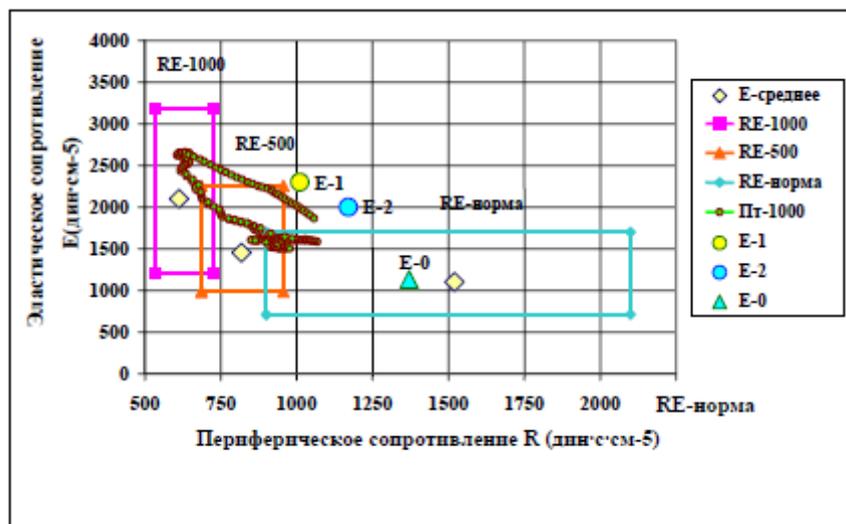


Рис. 2. *RE*-петля при работе на велоэргометре с $N=1000$ кгм/мин

Аналогично данным (рис. 1), соответствующие *RE*-точки (рис. 2) также образуют петлю, верхняя часть которой расположена в *RE*-области, отвечающей величинам сосудистых сопротивлений в условиях установившегося режима мышечной работы на велоэргометре с мощностью 1000 кГм/мин.

Нижняя ветвь петли, отвечающая вработыванию (рис. 2), расположена строго выше соответствующей ветви вработывания *RE*-петли (рис.1) при 500 кГм/мин. Верхняя ветвь *RE*-петли (рис. 2) расположена строго выше нижней ветви, и по данным 3-х минутного восстановления после 2-й нагрузки не достигает области *RE*-нормы. Расположение *RE*-петли (рис. 2) по отношению к области *RE*-нормы [11] наглядно указывает на некоторое недовосстановление системы кровообращения спортсмена после выполнения 2-й физической нагрузки.

Таблица 1

**Средние величины показателей центральной гемодинамики и сосудистой нагрузки сердца
в покое и после интервальных тренировок**

Показатель	Условия исследования		
	Покой	1 нагрузка	2 нагрузка
ЧСС, уд/мин	65.4±4.8	113.5±10.0	108±9.8
Систолическое давление, мм рт.ст.	125.1±6.35	151.2±7.8	145±8.9
Диастолическое давление, мм рт.ст.	81.6±3.75	75.1±2.3	73.8±2.7
Эластическое сопротивление, дин·см-5	1129±50.1	2267±173	2030±140
Периферическое сопротивление, дин·см-5	1369±79.5	1088±69	1140±84
Ударный объем крови, мл	107.9±6.8	83±6.52	81.4±7.3
Минутный объем крови, л/мин	6.9±0.58	9.2±1.4	8.3±1.2
Число обследованных	12	12	12

Отметим, что при вработывании в ходе динамических нагрузок на велоэргометре (рис.1, 2) происходят одновременный рост эластического сопротивления и снижение периферического сопротивления артериальной системы, а при восстановлении – снижение эластического сопротивления сопровождается увеличением периферического

В ходе же квазистатических нагрузок, например, при выполнении упражнений гимнастики «Пилатес» [15, 16], в начале растут и периферическое, и эластическое сопротивления, а затем оба сопротивления согласованно снижаются.

В табл. 1 представлены средние данные, полученные у легкоатлетов в покое перед тренировкой и после двух тренировочных забегов (в течение 5-10 минут после нагрузки).

Эти данные (табл.1) показывают, что систолическое артериальное давление, ЧСС, минутный кровоток и эластическое сопротивление значительно превосходят соответствующие величины, полученные перед началом тренировки. В то же время, диастолическое артериальное давление, ударный объем крови и периферическое сопротивление артериальной системы оказались достоверно ниже, чем в условиях покоя (табл.1).

На рис. 3 представлена модельная гистерезисная *RE*-петля, отвечающая беговым нагрузкам (табл.1). При этом «постнагрузочные» *RE*-точки *E1* и *E2* взяты из табл. 1

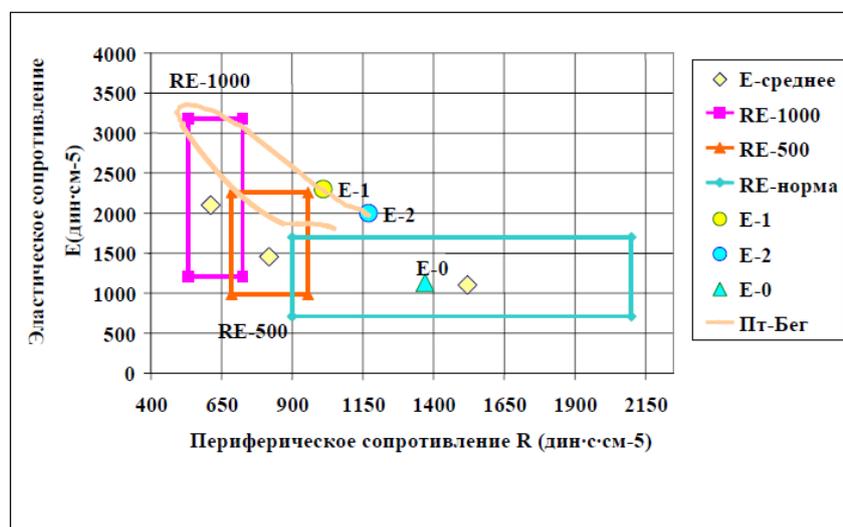


Рис. 3. Модельная *RE*-петля при беговой нагрузке

На рис. 3 *RE*-точки $E1$ и $E2$ расположены выше соответствующей *RE*-петли и вне областей [11] *RE*-500 и *RE*-1000. Модельная *RE*-петля, отвечающая условиям беговой нагрузки представлена на рис. 3 (светло-серый цвет).

Можно предположить, что эти точки ($E1$ и $E2$) находятся на восстановительной верхней ветви некоторой *RE*-петли, отвечающей интервальным беговым тренировкам (не дозированной мощности).

Точки $E1$ и $E2$ на рис. 3 расположены на нисходящей ветви *RE*-петли, отвечающей процессам восстановления после беговой нагрузки. Расположение модельной *RE*-петли и соответствующих *RE*-точек $E1$, $E2$ (рис. 3) указывает на то, что мощность беговых тренировочных нагрузок значительно превышает мощность (1000 кг/мин) второй велоэргометрической нагрузки (рис. 2).

Выводы:

1. Метод *RE*-диаграмм можно эффективно использовать как для наглядного представления результатов, так и для сравнения мощностей не дозированных мышечных нагрузок с известными мощностями велоэргометрических нагрузок.

2. Снижение артериального давления после достаточно напряженной мышечной работы не означает снижения нагрузки на сердце, поскольку пролонгированное снижение АД связано с ростом ЧСС, снижением ударного объема крови и ростом эластического сопротивления, величина которого и определяет сосудистую нагрузку на сердце.

3. Гистерезисная петля в *RE*-плоскости при выполнении динамической мышечной работы и восстановлении характеризуется первоначальным ростом эластического сопротивления при одновременном снижении периферического сопротивления, а затем при восстановлении – снижением эластического сопротивления при согласованном увеличении периферического сопротивления артериальной системы.

Литература

1. Белоцерковский З.Б., Любина Б.Г. Сердечная деятельность и функциональная подготовленность у спортсменов. М.: Советский спорт, 2012. 548 с.
2. Импеданская плетизмография (реография). В сб.: Инструментальные методы исследования в кардиологии / Под ред. Г.И. Сидоренко. Минск, 1994. 90 с.
3. Карпман В.Л., Любина Б.Г. Динамика кровообращения у спортсменов. М.: ФиС, 1982. 135 с.
4. Карпман В.Л., Орёл В.Р. Импеданс артериальной системы и сердечная деятельность // Физиология человека. 1985. № 4. С. 628–633.
5. Карпман В.Л., Орёл В.Р. Исследование артериального импеданса у человека. В сб.: Кардиореспираторная система. Количественные характеристики. Таллин: Валгус, 1986. 80 с.
6. Карпман В.Л., Орёл В.Р. Исследование входного импеданса артериальной системы у спортсменов // Клинико-физиологические характеристики сердечно-сосудистой системы у спортсменов. 1994. С. 92–116.
7. Эластическое сопротивление артериальной системы у спортсменов / Карпман В.Л., Орёл В.Р., Кочина Н.Г. [и др.] // Клиникофизиологические характеристики сердечно-сосудистой системы у спортсменов. 1994. С. 117–129.
8. Растяжимость аорты при артериальной гипертензии / Мартынов А.И., Остроумова О.Д., Сеницын В.Е. [и др.] // Кардиология. 2011. №2. С. 59–65.
9. Орёл В.Р. Адаптивные эффекты взаимодействия сердца и сосудов у спортсменов // Спортмен в междисциплинарном исследовании: Монография. / Под ред. М.П. Шестакова. М.: ТВТ Дивизион, 2009. 258 с.
10. Орёл В.Р. Минутный кровоток, мощность сердечного выброса и физическая работоспособность у спортсменов. В сб.: Сост. и перспективы развития медицины в спорте высш. достижений. Спортмед-2007. М.: ФК, 2007. 40 с.
11. Орёл В.Р., Амнуэль Л.Ю., Орёл В.В., Травинская А.Г. Уровень артериального давления и сосудистые сопротивления. В сб.: Спортивная медицина и исследования адаптации к физическим нагрузкам. – Научные чтения, посвященные 80-летию со дня рождения проф. В.Л.Карпмана. М.: РГУФК, 2005. 58 с.
12. Орёл В.Р., Смоленский А.В., Червяков Д.М., Качалов А.А. Артериальное давление и неинвазивные оценки величин сосудистых сопротивлений (норма, мышечная работа, гипертоническая болезнь) // Терапевт. 2013. №6. С. 56–61.
13. Орёл В.Р., Травинская А.Г. Модельные оценки эффективной упругости левого желудочка сердца и артериальной эластичности. В сб.: Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы. Шестая научно-практ. конференция. М.: АО НТЦ «МЕДАСС», 2004. 156 с.
14. Парашин В.Б., Иткин Г.Н. Биомеханика кровообращения / Под ред. С.И. Шукина. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 224 с.
15. Ростовцева М.Ю., Орёл В.Р., Смоленский А.В. Гипертонический уровень сосудистых сопротивлений при выполнении упражнений гимнастики «Пилатес» // Терапевт. 2015. №5-6. С. 87–88.
16. Ростовцева М.Ю., Орёл В.Р., Смоленский А.В., Щесюль А.Г. Локальные гипертонические эффекты сосудистой нагрузки сердца при выполнении упражнений гимнастики «Пилатес» // Вестник новых медицинских технологий. 2015. Т.22. №3. С. 99–102.
17. Effective Arterial Elastance Is Insensitive to Pulsatile Arterial Load / Chirinos J., Rietzschel E.R., Shiva-Kumar P. [et al.] // Hypertension. 2014. V.64. P. 1022–1031.
18. Chirinos J.A., Segers P. Noninvasive evaluation of left ventricular afterload: part 1: pressure and flow measurements and basic principles of wave conduction and reflection // Hypertension. 2010. V.56. P. 555–562.
19. Chirinos J.A., Segers P. Noninvasive evaluation of left ventricular afterload, part 2: arterial pressure-flow and pressure-volume relations in humans // Hypertension. 2010. V.56 P. 563–570.
20. Arterial properties as determinants of time-varying myocardial stress in humans / Chirinos J.A., Segers P., Gillebert T.C. [et al.] // Hypertension. 2012. V.60. P. 64–70.
21. Hysteresis in the sympathetic baroreflex: role of baseline nerve activity / Hart E.C., Wallin B.G., Curry T.B [et al.] // J. Physiol. 2011. V.589. P. 3395–3404.
22. Noordergraaf A. Hemodynamics // In Biological engineering. 1969. V.9. P. 391–545.
23. Vascular endothelium-derived factors and arterial stiffness in strength and endurance-trained men / Otsuki T., Maeda N., Iemitsu M. [et al.] // Am.J.Physiol. Heart Circ. Physiol. 2007. V. 292. P. 786–791.

References

1. Belotserkovskiy ZB, Lyubina BG. Serdechnaya deyatel'nost' i funktsional'naya podgotovlennost' u sportsmenov [Cardiac activity and functional readiness of the athletes]. Moscow: Sovetskiy sport; 2012. Russian.
2. Impedanskaya pletizmografiya (reografiya) [Impedance plethysmography (rheography)]. V sb.: Instrumental'nye metody issledovaniya v kardiologii. Pod red. Sidorenko GI. Minsk; 1994. Russian.

3. Karpman VL, Lyubina BG. Dinamika krovoobrashcheniya u sportsmenov [Circulatory dynamics in athletes]. Moscow: FiS; 1982. Russian.
4. Karpman VL, Orel VR. Impedans arterial'noy sistemy i serdechnaya deyatel'nost' [The impedance of the arterial system and the heart activity]. Fiziologiya cheloveka. 1985;4:628-33. Russian.
5. Karpman VL, Orel VR. Issledovanie arterial'nogo impedansa u cheloveka [Arterial impedance study in humans]. V sb.: Kardiopiratornaya sistema. Kolichestvennye kharakteristiki. Tallin: Valgus; 1986. Russian.
6. Karpman VL, Orel VR. Issledovanie vkhodnogo impedansa arterial'noy sistemy u sportsmenov [Investigation of the input impedance of the arterial system in athletes]. Kliniko–fiziologicheskie kharakteristiki serdechno-sosudistoy sistemy u sportsmenov. 1994:92-116. Russian.
7. Karpman VL, Orel VR, Kochina NG, et al. Elasticheskoe soprotivlenie arterial'noy sistemy u sportsmenov [Elastic resistance of the arterial system in athletes]. Klinikofiziologicheskie kharakteristiki serdechno-sosudistoy sistemy u sportsmenov. 1994:117-29. Russian.
8. Martynov AI, Ostroumova OD, Sinitsyn VE, et al. Rastyazhimost' aorty pri arterial'noy gipertenzii [The compliance of the aorta with arterial hypertension]. Kardiologiya. 2011;2:59-65. Russian.
9. Orel VR. Adaptivnye efekty vzaimodeystviya serdtsa i sosudov u sportsmenov [Adaptive interaction effects of heart and blood vessels in athletes]. Sportsmen v mezhdistsiplinarnom issledovanii: Monografiya. Pod red. Shestakova MP. Moscow: TVT Divizion; 2009. Russian.
10. Orel VR. Minutnyy krovotok, moshchnost' serdechnogo vybrosa i fizicheskaya rabotosposobnost' u sportsmenov [Minute blood flow, cardiac output power and physical performance in athletes]. V sb.: Sost. i perspektivy razvitiya meditsiny v sporte vyssh. dostizheniy. Sportmed-2007. Moscow: FK; 2007. Russian.
11. Orel VR, Amnuel' LY, Orel VV, Travinskaya AG. Uroven' arterial'nogo davleniya i sosudistye soprotivleniya [Blood pressure and vascular resistance]. V sb.: Sportivnaya meditsina i issledovaniya adaptatsii k fizicheskim nagruzkam. – Nauchnye chteniya, posvyashchennye 80-letiyu so dnya rozhdeniya prof. Karpmana VL. Moscow: RGUFK; 2005. Russian.
12. Orel VR, Smolenskiy AV, Chervyakov DM, Kachalov AA. Arterial'noe davlenie i neinvazivnye otsenki velichin sosudistikh soprotivleniy (norma, myshechnaya rabota, gipertonicheskaya bolezn') [Blood pressure and non-invasive assessment of vascular resistance values (normal, muscular work, hypertension)]. Terapevt. 2013;6:56-61. Russian.
13. Orel VR, Travinskaya AG. Model'nye otsenki effektivnoy uprugosti levogo zheludochka serdtsa i arterial'noy elastichnosti [Model estimates of elasticity effective left ventricular and arterial elasticity]. V sb.: Diagnostika i lechenie narusheniy regulyatsii serdechno-sosudistoy sistemy. Shestaya nauchno-prakt. konferentsiya. Moscow: AO NTTs «MEDASS»; 2004. Russian.
14. Parashin VB, Itkin GN. Biomekhanika krovoobrashcheniya [Biomechanics of blood circulation]. Pod red. Shchukina SI. Moscow: Izd-vo MG TU im Baumana NE; 2005. Russian.
15. Rostovtseva MY, Orel VR, Smolenskiy AV. Gipertonicheskiy uroven' sosudistikh soprotivleniy pri vypolnenii upravleniy gimnastiki «Pilates» [Hypertensive vascular resistance levels when performing gymnastic exercises "Pilates"]. Terapevt. 2015;5-6:87-8. Russian.
16. Rostovtseva MY, Orel VR., Smolenskiy AV, Shchesyul' AG. Lokal'nye gipertonicheskie efekty sosudistoy nagruzki serdtsa pri vypolnenii upravleniy gimnastiki «Pilates» [Local effects of hypertensive vascular cardiac load during exercise gym "Pilates"]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2015;22(3):99-102. Russian.
17. Chirinos J, Rietzschel ER, Shiva-Kumar P, et al. Effective Arterial Elastance Is Insensitive to Pulsatile Arterial Load. Hypertension. 2014;64:1022-31.
18. Chirinos JA, Segers P. Noninvasive evaluation of left ventricular afterload: part 1: pressure and flow measurements and basic principles of wave conduction and reflection. Hypertension. 2010;56:555-62.
19. Chirinos JA, Segers P. Noninvasive evaluation of left ventricular afterload, part 2: arterial pressure-flow and pressure-volume relations in humans. Hypertension. 2010;56:563-70.
20. Chirinos JA, Segers P, Gillebert TC, et al. Arterial properties as determinants of time-varying myocardial stress in humans. Hypertension. 2012;60:64-70.
21. Hart EC, Wallin BG, Curry TB, et al. Hysteresis in the sympathetic baroreflex: role of baseline nerve activity. J. Physiol. 2011;589:3395-404.
22. Noordergraaf A. Hemodynamics. In Biological engineering. 1969;9:391-545.
23. Otsuki T, Maeda N, Iemitsu M. et al. Vascular endothelium-derived factors and arterial stiffness in strength and endurance-trained men. Am.J.Physiol. Heart Circ. Physiol. 2007;292:786-91.

Библиографическая ссылка:

Орел В.Р., Михайлова А.В., Гацунаев А.Н. Сосудистая нагрузка сердца у спортсменов во время и после окончания мышечной работы // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2016. №2. Публикация 2-16. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-2/2-16.pdf> (дата обращения: 27.05.2016). DOI: 10.12737/20077.