

ОСОБЕННОСТИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ ГЕМОДИНАМИКИ И КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ НАРАСТАЮЩЕЙ МОЩНОСТИ

Николаева Т.М.¹, Голубева Е.К.¹

¹ФГБОУ ВО «Ивановская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Иваново, e-mail: adm@isma.ivanovo.ru

Воздействие физических нагрузок на организм приводит к адаптивным изменениям во всех его физиологических системах. Под влиянием физической активности происходит перераспределение кровотока между функционально активными и неактивными органами. Физические нагрузки оказывают влияние на способность человека быстро и эффективно воспринимать информацию. Целью работы является изучение особенностей гемодинамики верхних конечностей и когнитивных способностей человека в зависимости от мощности дозированной велоэргометрии. Для исследования регионального кровотока на участке «плечо – предплечье» применяли аппаратно-программный комплекс «Рео-Спектр» компании «Нейрософт» (Иваново). Моделирование физической нагрузки проводилось с помощью велоэргометра. Мощность нагрузки составляла 1 Вт/кг, 2 Вт/кг, а также 1 и 2 Вт/кг массы тела последовательно. Для оценки когнитивной функции проводилась корректурная проба, позволяющая оценить концентрацию внимания. После физической нагрузки мощностью 1 Вт/кг массы тела статистически значимых изменений показателей реовазографии не выявлено. Нагрузка мощностью 2 Вт/кг и 1+2 Вт/кг массы тела сопровождается увеличением кровенаполнения, снижением скорости кровотока в средних и крупных сосудах верхних конечностей на фоне уменьшения продолжительности кардицикла. После физической нагрузки происходит снижение концентрации внимания.

Ключевые слова: физическая нагрузка, велоэргометрия, корректурная проба, периферический кровоток, реовазография.

FEATURES OF PERIPHERAL HEMODYNAMICS AND COGNITIVE ABILITIES OF A PERSON WITH DYNAMIC PHYSICAL ACTIVITY OF INCREASING POWER

Nikolaeva T.M.¹, Golubeva E.K.¹

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State Medical Academy» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Ivanovo, e-mail: adm@isma.ivanovo.ru

The impact of physical activity on the body leads to adaptive changes in all physiological systems of the body. Under the influence of physical activity, there is a redistribution of blood flow between functionally active and inactive organs. Physical activity affects a person's ability to quickly and efficiently perceive information. The aim of the work is to study the features of the hemodynamics of the upper extremities and cognitive abilities of a person, depending on the power of the dosed bicycle ergometry. To study the regional blood flow in the «shoulder – forearm» sections, the hardware and software complex «Reo-Spectrum» by «Neurosoft» company (Ivanovo) was used. Physical activity was simulated using a bicycle ergometer. The load power was 1 W / kg, 2 W / kg, as well as 1 and 2 W / kg of body weight in sequence. To assess cognitive function, a correction test was carried out to assess concentration. After physical activity with a power of 1 W / kg of body weight, no statistically significant changes in rheovasography parameters were revealed. The load with a power of 2 W / kg and 1 + 2 W / kg of body weight is accompanied by an increase in blood filling, a decrease in the blood flow velocity in the medium and large vessels of the upper extremities against the background of a decrease in the duration of the cardiocycle. After physical exertion, concentration of attention decreases.

Keywords: physical activity, veloergometry, proof-reading test, peripheral blood flow, rheovasography.

Воздействие физических нагрузок на организм приводит к адаптивным изменениям во всех физиологических системах. В значительной мере адаптивные способности организма зависят от состояния системы кровообращения [1, 2]. Известно, что действие физических упражнений способствует повышению частоты сердечных сокращений, увеличению ударного и минутного объема крови, изменению тонуса кровеносных сосудов [3]. Под

влиянием физической нагрузки происходит перераспределение периферического кровотока между функционально активными и неактивными органами. Физические нагрузки оказывают влияние и на когнитивные способности человека, такие как быстрота и эффективность восприятия информации [4, 5]. Показано, что тренировки с дополнительными нагрузками улучшают приток крови к мозгу, улучшая когнитивную функцию. Актуальным является изучение изменения концентрации внимания и показателей периферического кровотока под воздействием физических нагрузок. Методом, позволяющим оценить особенности кровотока и состояние сосудов, является реовазография (РВГ). По синхронным волнам РВГ можно судить о кровенаполнении сосудов в зависимости от фазы сердечного сокращения, вычислить общую интенсивность наполнения органа артериальной кровью, величину оттока крови, эластичность сосудов, периферическое сопротивление.

Цель исследования. Изучить особенности гемодинамики верхних конечностей и когнитивных способностей человека в зависимости от мощности дозированной велоэргометрии.

Материалы и методы исследования. Исследование проведено на 10 мужчинах-добровольцах, имеющих нормальное физическое развитие и нормальный двигательный режим, не имеющих специальной физической подготовки и занимающихся физкультурой в основной группе по программе, предусмотренной для студентов соответствующих курсов. Средний возраст испытуемых составлял $19,40 \pm 0,3$ года. В качестве контроля использованы исходные данные, полученные при обследовании добровольцев перед выполнением нагрузочных тестов. Оценивали изменения параметров реовазографии (РВГ) в сегменте «плечо – предплечье» и когнитивных функций после дозированной физической нагрузки. Физическую нагрузку моделировали с помощью велоэргометра. Мощность нагрузки составляла 1 Вт/кг, 2 Вт/кг массы тела при скорости вращения педалей 50 оборотов в минуту, а также 1 Вт/кг и 2 Вт/кг массы тела последовательно с 5-минутным перерывом (1+2 Вт/кг).

Изменение показателей регионального кровотока в верхних конечностях исследовали с помощью компьютерного реографа «Рео-Спектр» компании «Нейрософт» (Иваново) [6]. Определяли следующие параметры: базовое сопротивление ($Z_{\text{базов}}$, Ом), максимальную амплитуду артериальной компоненты ($A_{\text{арт}}$, Ом), реографический индекс (РИ, у.е.), амплитудно-частотный показатель (АЧП, у.е.), максимальную скорость быстрого наполнения ($V_{\text{макс}}$, Ом/с), среднюю скорость медленного наполнения ($V_{\text{ср}}$, Ом/с).

Исследование когнитивных способностей проводилось с помощью корректурной пробы – группы бланковых тестов, которые помогают оценить степень концентрации и

уровень внимания. Точность (концентрация) внимания (показатель С) определялась отношением количества ошибок к общему числу просмотренных знаков.

Формула для вычисления точности (концентрации) внимания:

$$C = \frac{П1 - П2 - П3}{П} * 100\%, \text{ где:}$$

П1 – сумма правильно вычеркнутых букв; *П2* – сумма пропущенных букв; *П3* – сумма ошибочно вычеркнутых букв; *П* – общее количество букв в просмотренных строках, подлежащих вычеркиванию [7].

Статистическая обработка результатов исследования производилась с помощью электронных таблиц Excel и программы Statistica. Достоверность различий оценивалась по t-критерию Стьюдента, непараметрическим критериям Колмогорова–Смирнова и Манна–Уитни. Рассчитывались среднее арифметическое, среднее квадратическое отклонение, ошибка среднего. Для определения нормальности распределения использовался критерий Шапиро–Уилка. Различия считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ показателей РВГ верхних конечностей в сегменте «плечо – предплечье» после физической нагрузки мощностью 1 Вт/кг массы тела выявил отсутствие статистически значимых изменений по сравнению с контролем. При проведении корректурной пробы после физической нагрузки мощностью 1 Вт/кг у 2 испытуемых отмечается снижение количества правильных ответов по сравнению с контрольным исследованием. У 6 человек наблюдается увеличение количества пропущенных знаков, у 5 человек увеличивается время, затраченное на проведение теста. Концентрация внимания снижается до $74,94 \pm 3,23\%$ по сравнению с $84,27 \pm 3,15\%$ в контроле ($p=0,05$). Одновременно происходит снижение показателя базового сопротивления в правом предплечье, значение которого после корректурной пробы составляет $140,50 \pm 2,89$ Ом при $147,70 \pm 3,29$ Ом в контроле ($p=0,05$). Это может быть связано с расширением сосудов мышц рабочей руки в результате совершения действий, необходимых для выполнения пробы.

Увеличение мощности нагрузки до 2 Вт/кг массы тела сопровождается снижением базового сопротивления во всех сегментах верхних конечностей (рис. 1а), что связано с увеличением кровенаполнения исследуемых областей. Чем больше кровенаполнение, тем меньше сопротивление тканей [8]. В левом плече и в правом предплечье наблюдается снижение РИ (рис. 1б), которое зависит от особенностей как центральной, так и региональной гемодинамики и изменяется параллельно изменению $Z_{\text{базов}}$, отражая увеличение кровенаполнения сосудов исследуемой области. С изменением реографического индекса связано изменение амплитуды артериальной компоненты.

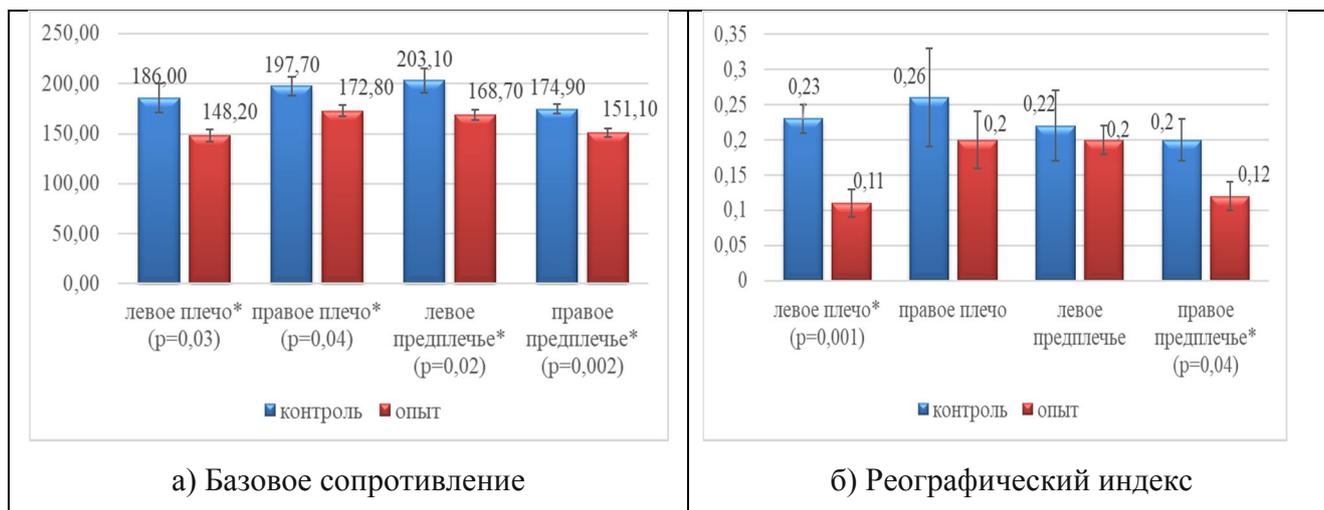


Рис. 1. Изменение показателей РВГ верхних конечностей при велоэргометрии мощностью нагрузки 2 Вт/кг

Примечание: * – статистически значимые различия по сравнению с контролем ($p \leq 0,05$).

При понижении РИ наблюдаются достоверное увеличение Аарт во всех исследуемых сегментах верхних конечностей (табл. 1). Это может свидетельствовать об увеличении силы сердечных сокращений при физической нагрузке в результате увеличения венозного притока к сердцу [9].

Таблица 1

Изменение амплитуды артериальной компоненты РВГ верхних конечностей при велоэргометрии разной мощности ($M \pm m$)

Показатель	Контроль	После физической нагрузки	
		Мощность 2 Вт/кг	Мощность 1+2 Вт/кг
Аарт левое плечо, Ом	$0,02 \pm 0,003$	$0,12 \pm 0,02^*$ ($p=0,04$)	$1,25 \pm 0,34^*$ ($p=0,01$)
Аарт правое плечо, Ом	$0,03 \pm 0,004$	$1,10 \pm 0,22^*$ ($p=0,001$)	$3,14 \pm 0,36^*$ ($p=0,00001$)
Аарт левое предплечье, Ом	$0,03 \pm 0,005$	$3,19 \pm 0,39^*$ ($p=0,00002$)	$2,69 \pm 0,68^*$ ($p=0,003$)
Аарт правое предплечье, Ом	$0,02 \pm 0,002$	$2,60 \pm 0,16^*$ ($p=0,000001$)	$1,12 \pm 0,20^*$ ($p=0,0004$)

Примечание: p – статистическая значимость различий по сравнению с контролем ($p \leq 0,05$).

Амплитудно-частотный показатель (АЧП) повышается только в правом плече до $0,46 \pm 0,04$ при $0,33 \pm 0,05$ в контроле ($p=0,004$). АЧП определяется соотношением РИ к длительности сердечного цикла. Повышение АЧП после физической нагрузки связано с увеличением частоты сердечных сокращений, повышением ударного объема крови и снижением общей длительности кардиоцикла [10]. После физической нагрузки мощностью 2 Вт/кг средняя скорость медленного наполнения уменьшается в правом предплечье до

0,13±0,01 Ом/с, контрольное значение составляет 0,19±0,02 Ом/с (p=0,04). Наблюдаемое при этом снижение V_{max} в правом плече до 0,59±0,05 Ом/с при 0,64±0,09 Ом/с в контроле (p=0,04) указывает на увеличение диаметра сосудов, что может быть следствием активации барорецепторного механизма регуляции артериального давления в результате раздражения сосудистых рефлексогенных зон при увеличении сердечного выброса [11, 12].

При проведении корректурного теста после физической нагрузки мощностью 2 Вт/кг у 6 испытуемых обнаружено снижение количества правильных ответов, при этом у 9 человек повысилось количество пропущенных знаков, у 6 человек увеличилось время, затраченное на проведение теста. Концентрация внимания после физической нагрузки снижается до 73,97±5,91 при контрольном значении 89,70±2,62 (p=0,03).

Показатели кровотока при воздействии физической нагрузки мощностью 1+2 Вт/кг характеризуются снижением базового сопротивления во всех исследуемых участках (рис. 2а). РИ в левом плече и в правом предплечье достоверно снижается после воздействия физической нагрузки мощностью 1+2 Вт/кг по сравнению с показателем реографического индекса в контроле (рис. 2б).

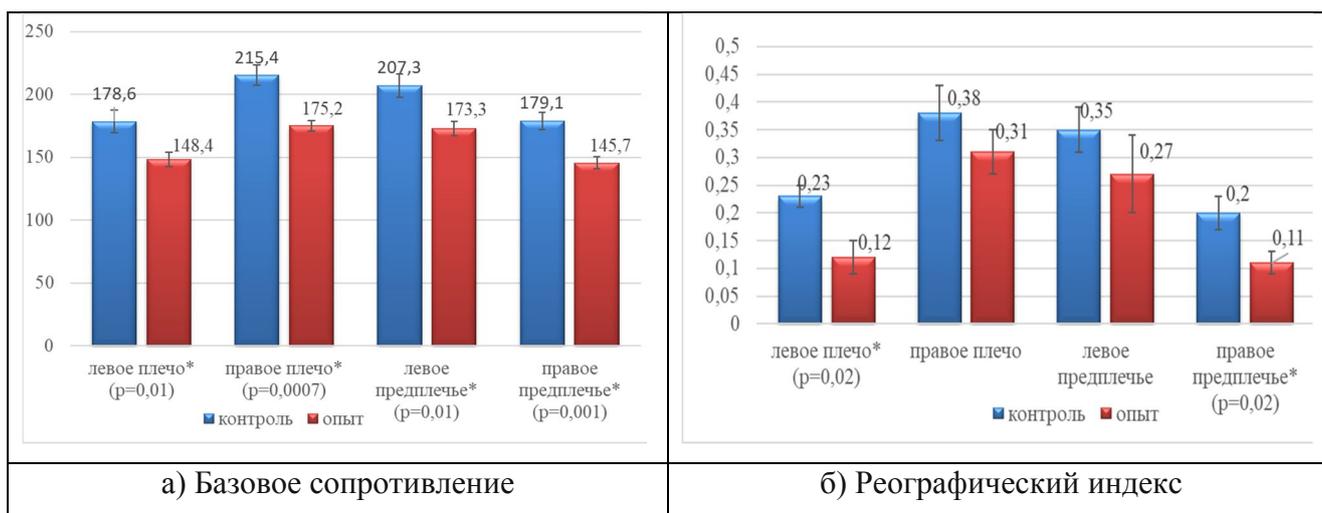


Рис. 2. Изменение показателей РВГ верхних конечностей при велоэргометрии мощностью нагрузки 1+2 Вт/кг массы тела

Примечание: * – статистически значимые различия по сравнению с контролем (p≤0,05).

При физической нагрузке мощностью 1+2 Вт/кг наблюдается увеличение амплитуды артериальной компоненты (Аарт) по сравнению с контролем, что свидетельствует об увеличении кровенаполнения. Показатель амплитуды Аарт тесно связан с реографическим индексом и отражает кровенаполнение магистральных артерий исследуемых сегментов. Контрольный показатель средней скорости медленного наполнения в левом плече составляет 0,24±0,04, после физической нагрузки 1+2 Вт/кг V_{ср} уменьшается до 0,12±0,02 Ом/с (p=0,01). Это может быть связано с увеличением просвета средних и мелких артерий.

Наблюдаемое при этом снижение V_{max} в левом плече до $0,24 \pm 0,04$ Ом/с при $0,38 \pm 0,04$ Ом/с в контроле ($p=0,03$) указывает на уменьшение тонуса крупных сосудов. Наблюдается уменьшение длительности кардиоцикла ($T_{кардио}$) после физической нагрузки $1+2$ Вт/кг до $0,68 \pm 0,04$ с по сравнению с $0,88 \pm 0,07$ с в контроле ($p=0,03$), что обусловлено увеличением частоты сердечных сокращений и является адаптивным симпатическим эффектом при физической нагрузке [13].

Результаты корректурной пробы после физической нагрузки $1+2$ Вт/кг показали снижение количества правильных ответов у 8 испытуемых, у 6 человек повысилось количество пропущенных ответов, у 5 человек увеличилось время, затраченное на проведение теста. Концентрация внимания после физической нагрузки мощностью $1+2$ Вт/кг снижается до $73,84 \pm 3,55$ при $88,78 \pm 2,33$ в контроле ($p=0,003$). Сравнительный анализ влияния дозированной физической нагрузки разной мощности на показатели корректурной пробы, в том числе на концентрацию внимания, достоверных различий не выявил.

При сравнении влияния нагрузки различной мощности на параметры РВГ обнаружено большее базовое сопротивление в правом плече и левом предплечье при мощности нагрузки 2 Вт/кг и $1+2$ Вт/кг, чем после физической нагрузки мощностью 1 Вт/кг (табл. 2).

Таблица 2

Изменения показателей РВГ в сегменте «плечо – предплечье» при физической нагрузке разной мощности ($M \pm m$)

Показатель	Мощность физической нагрузки		
	1 Вт/кг	2 Вт/кг	1+2 Вт/кг
Zбазов правое плечо, Ом	$157,10 \pm 3,47$	$172,80 \pm 5,50^*$ ($p=0,03$)	$175,20 \pm 4,29^*$ ($p=0,004$)
Zбазов левое предплечье, Ом	$154,20 \pm 4,80$	$168,70 \pm 5,43^*$ ($p=0,02$)	$173,30 \pm 5,67^*$ ($p=0,02$)
AЧП правое плечо	$0,27 \pm 0,06$	$0,46 \pm 0,04^*$ ($p=0,02$)	$0,47 \pm 0,05^*$ ($p=0,02$)
V _{ср} предплечье левое, Ом/с	$0,18 \pm 0,03$	$0,27 \pm 0,02^*$ ($p=0,03$)	$0,28 \pm 0,06$
Aарт левое плечо, Ом	$0,02 \pm 0,003$	$1,10 \pm 0,22^*$ ($p=0,001$)	$1,25 \pm 0,34^*$ ($p=0,01$)
Aарт правое плечо, Ом	$0,03 \pm 0,004$	$3,19 \pm 0,39^*$ ($p=0,00002$)	$3,14 \pm 0,36^*$ ($p=0,00001$)
Aарт левое предплечье, Ом	$0,02 \pm 0,005$	$2,60 \pm 0,16^*$ ($p=0,000001$)	$2,69 \pm 0,68^*$ ($p=0,003$)
Aарт правое предплечье, Ом	$0,03 \pm 0,002$	$1,24 \pm 0,18^*$ ($p=0,0001$)	$1,12 \pm 0,20^*$ ($p=0,0004$)

Примечание: p – статистическая значимость различий показателей РВГ после физической нагрузки мощностью 2 Вт/кг и $1+2$ Вт/кг по сравнению с аналогичными показателями после нагрузки мощностью 1 Вт/кг ($p \leq 0,05$).

Это может свидетельствовать о большем тонусе сосудов в связи с усилением симпатических влияний при увеличении мощности физической нагрузки [14]. Амплитудно-

частотный показатель достоверно повышается при действии физической нагрузки мощностью 2 Вт/кг и 1+2 Вт/кг по сравнению с эффектом нагрузки мощностью 1 Вт/кг. Величина АЧП характеризует величину объемного кровотока в исследуемой области в единицу времени, при повышении мощности физической нагрузки величина амплитудно-частотного показателя увеличивается. Оценка амплитуды артериальной компоненты после влияния физической нагрузки мощностью 2 Вт/кг и 1+2 Вт/кг показала достоверное увеличение этого параметра во всех областях верхних конечностей по сравнению с эффектом физической нагрузки мощностью 1 Вт/кг, что может быть следствием увеличения силы сердечных сокращений в условиях активации симпатoadреналовой системы [15]. В то же время при сравнении показателей реовазографии верхних конечностей в сегменте «плечо – предплечье» после физической нагрузки мощностью 2 Вт/кг и последовательно 1+2 Вт/кг статистически достоверных различий не выявлено.

Заключение. Изменения показателей РВГ в сегменте «плечо – предплечье» зависят от мощности дозированной велоэргометрии. Они отсутствуют при мощности нагрузки 1 Вт/кг и проявляются при 2 Вт/кг массы тела увеличением кровенаполнения верхних конечностей, снижением скорости кровенаполнения средних и крупных сосудов при одновременном уменьшении продолжительности кардиоцикла. Физическая нагрузка мощностью 2 Вт/кг массы тела и последовательно 1+2 Вт/кг приводит к аналогичным сдвигам реографических параметров. Мышечная нагрузка сопровождается снижением концентрации внимания, степень которой не зависит от мощности нагрузки.

Список литературы

1. Пылаева И.Л. Адаптация систем кровообращения и иммунитета к сезонным условиям среды и физическим нагрузкам у квалифицированных спортсменов: дис. ... канд. биол. наук. Челябинск, 2012. 145 с.
2. Дратцев Е.Ю., Викулов Л.Д., Мельников А.А., Алехин В.В. Состояние регионального кровообращения у спортсменов высокой квалификации // Вестник спортивной науки. 2008. № 3. С. 32–35.
3. Мельникова Н.В., Егорычева Е.В., Чернышёва И.В., Шлемова М.В. Влияние физических тренировок на кровь и на кровеносную систему // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 5-3. С. 454-455.
4. Любаев А.В. Влияние физических упражнений на умственную деятельность студентов и их взаимосвязь // Молодой ученый. 2015. № 18. С. 423-425.

5. Шаханова А.В., Челышкова Т.В., Хасанова Н.В., Силантьев М.Н. Функциональные и адаптивные изменения сердечно-сосудистой системы студентов в динамике обучения // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2008. № 9. С. 60-70.
6. Комплекс реографический «Рео–Спектр»: методические указания. Иваново: ООО «Нейрософт», 2010. 152 с.
7. Психологическая диагностика в практике врача / Составители Дьяконов И.Ф., Овчинников Б.В. СПб.: Спец. Лит, 2008. 143 с.
8. Бунов В.С., Гордиевских Н.И. Определение тенденций изменений пульсового кровенаполнения по реограмме // Гений ортопедии. Журнал клинической и экспериментальной ортопедии имени Г.А. Илизарова. 2000. № 3. С. 63-67.
9. Орел В.Р., Тамбовцева Р.В., Туркова Е.А. Влияние сосудистой нагрузки сердца и его сократимости на частоту сердечных сокращений у спортсменов // Вестник новых медицинских технологий. 2017. Т. 24. № 1. С. 89-93.
10. Малов Ю.С., Марин А.И. О симметрии работы сердца человека // Вестник Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург. 2016. № 2 (54). С. 87-92.
11. Шалыгин Л.Д. Современные представления о механизмах регуляции артериального давления. // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2015. Т. 10. № 2. С. 109-112.
12. Цырлин В.А., Кузьменко Н.В., Плисс М.Г. Участие артериального барорецепторного рефлекса в долговременной регуляции артериального давления // Артериальная гипертензия. 2009. Т. 15. № 6. С. 679-682.
13. Шаяхметов Н.Н., Ардаев Р.Г. Адаптивные реакции сердечно-сосудистой системы юношей и девушек 20-22 лет на физическую нагрузку малой мощности // Вестник Башкирского университета. 2013. Т. 18. № 2. С. 399-402.
14. Ткаченко Д.С., Чуб И.С. Влияние физической нагрузки на тонус сосудов головного мозга у студентов // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 6. С. 121.
15. Тапбергенов С.О., Тапбергенов Т.С., Nahn N., Советов Б.С. Функциональные и метаболические эффекты симпатoadреналовой системы и стресс. М: Издательский дом Акад. естествознания, 2019. 137 с.