

ОБЗОРЫ

© Коллектив авторов, 2016
УДК 616.831-053.9-084:612.766.1
DOI:10.23888/PAVLOVJ20164152-163

**МНОГОЛЕТНЯЯ ЦИКЛИЧЕСКАЯ АЭРОБНАЯ ТРЕНИРОВКА
СОХРАНЯЕТ ЗДОРОВЬЕ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА В ПОЖИЛОМ ВОЗРАСТЕ
(КРАТКИЙ ОБЗОР ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)**

А.С. Радченко¹, В.В. Давыдов², А.Н. Калиниченко³

Санкт-Петербургский гуманитарный университет профсоюзов Минобра РФ,
ул. Фучика, 15, 192238, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация (1)
Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова,
ул. Высоковольтная, 9, 390026, г. Рязань, Российская Федерация (2)
Санкт-Петербургский электротехнический университет (ЛЭТИ) им. В.И. Ульянова
(Ленина) Минобра РФ, ул. профессора Попова, 5,
197376, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация (3)

На основании анализа данных иностранной специальной литературы выявлено, что систематически выполняемая человеком (бывшим спортсменом) в течение большей части жизни циклическая мышечная аэробная работа оказывает благоприятное воздействие на головной мозг. Усовершенствование желудочко-артериального сопряжения улучшает перфузию головного мозга и создает ему функциональные преимущества в пожилом возрасте. При этом сдерживается угасание как серого, так и белого вещества, особенно в образованиях, связанных со зрительным контролем и пространственной ориентацией организма, двигательным контролем и состоянием памяти и, связанным с возрастом, ухудшением когнитивных функций по сравнению с лицами, ведущими малоподвижный образ жизни.

Ключевые слова: *циклическая аэробная работа, артериальная жесткость, желудочко-артериальное сопряжение, здоровье головного мозга, церебральная гемодинамика, перфузия.*

**LONG-TERM CYCLIC AEROBIC TRAINING PRESERVES THE BRAIN'S HEALTH
IN ELDERLY PERSONS (BRIEF REVIEW)**

A.S. Radchenko¹, B.B. Davydov², A.N. Kalinichenko³

St. Petersburg University of Humanities of the Ministry of Education and Science of Russian Federation, Fuchika str., 15, 192238, St. Petersburg, Russian Federation (1)
Ryazan State Medical University, named after academician I.P. Pavlov,
Vysocovolttnaya str., 9, 390026, Ryazan, Russian Federation (2)
St. Petersburg Electrotechnical University (LETI), named after V.I. Ulyanov (Lenin)
of the Ministry of Education and Science of Russian Federation,
professor Popov str., 5, 197376, Saint Petersburg, Russian Federation (3)

It was identified on the base of special periodical literature analyze that cyclic muscular work systematically performed during large part of the person's life (former athlete) provides mainly the favorable effect on the brain. Ventricular-arterial coupling improvement ameliorates brain perfusion, and creates function advantages to brain health in old age. At that, the gray and white matter fading hampered, especially in structures that associated with visual control and human body spatial orientation, motor control and memory state, and age-related attenuation of cognitive functions in comparison with sedentary persons of the same age.

Keywords: *cyclic aerobic work, arterial stiffness, ventricular-arterial coupling, brain health, cerebral hemodynamic, perfusion.*

Среди врачей спортивной медицины существует распространенное мнение, что большие физические нагрузки, которые характерны для спорта высших достижений, в конечном итоге вредно отражаются на состоянии здоровья спортсмена. При этом, оставляя вне рассуждений такие травматичные виды спорта, как бокс, различные формы единоборств, хоккей, футбол, регби, американский футбол и др., имеют в виду циклические виды спорта, связанные с развитием выносливости. К подобному мнению приводят результаты регулярных повторных обследований спортсменов многих видов спорта. В огромном количестве публикаций на эту тему выделяется основная причина различных отклонений в деятельности сердца, сформулированная еще в прошлом веке – неадекватность физических нагрузок функциональному состоянию организма спортсмена [1]. Рассмотрим эту проблему с другой стороны и попытаемся уточнить, какие выгоды для здоровья спортсмена могут дать длительные занятия циклическими физическими упражнениями аэробного характера.

Цель настоящего обзора зарубежной научной литературы – кратко осветить интенсивно изучаемую проблему адаптации системы кровообращения мозга к длительной мышечной работе, которая обеспечивается современными высокотехнологическими средствами, а также показать какие при этом происходят долговременные структурные и функциональные изменения в мозге человека.

Желудочно-артериальное сопряжение

Имеются многочисленные научные исследования, которые убедительно продемонстрировали прочные взаимоотношения между артериальной жесткостью и геометрией левого желудочка. Было установлено, что типичная адаптация сердца при перегрузке постнагрузкой, которая является следствием артериальной жесткости, увеличивает гипертрофию миокарда и еще больше увеличивает его жесткость [2, 3, 4]. Кроме того, известно, что проявление сердечно-сосудистых заболеваний с возрастом связано с ростом не только желудочковой, но и артериальной жесткости [5, 6]. Выявлено также, что при длительных тренировках на выносливость с годами комплайнс миокарда сохраняется лучше у бывших спортсменов высокого класса (ВС) по сравнению с лицами, ведущими малоподвижный образ жизни [7], а регулярные циклические физические нагрузки предотвращают и/или снижают, связанную с возрастом, жесткость центральных артерий [8, 9, 10, 11].

Учитывая названные закономерности S. Shibata et al. [10, 12] показали, что тренировки на выносливость могут оказывать воздействие на дефектное перестроение сердечно-сосудистой жесткости посредством усовершенствования желудочно-артериального сопряжения. Отрицательная динамика механизма Франка-Старлинга, в основе которой лежат связанные с возрастом изменения жесткости миокарда и артериальных сосудов, может сдерживаться в результате регулярных

многолетних занятий циклическими видами спорта «на выносливость». Ухудшение названного механизма может замедляться также и на позднем этапе жизни при регулярных занятиях циклическими физическими упражнениями. Перечисленные закономерности были выявлены посредством оценки ритмического взаимодействия индексов, характеризующих (от сокращения к сокращению) преднагрузку и постнагрузку сердца. В названной работе сопоставлялись диастолическое давление в легочной артерии (ДДЛА), как входящая переменная, против систолического объема (СО), как выходящей переменной. Выборку показателей получали при непрерывной регистрации в течение нескольких минут. Передаточная функция сердца вычислялась посредством спектрального, фазового, когерентного анализа.

В названном подходе колебания ДДЛА от сокращения к сокращению сердца определяют изменения каждого последующего СО, который, в свою очередь, изменяется в зависимости от колебаний периферического сопротивления артериальных сосудов. Эти взаимоотношения выражаются временным (фазовым) опережением (отставанием) сигнала на выходе (СО) относительно сигнала на входе (ДДЛА) в частотном диапазоне дыхания (0,18-0,22 Гц), и определяются величиной коэффициента передачи, который отражает желудочко-артериальное сопряжение. На трех группах испытуемых, таким образом, было показано, что усиление передаточной функции между ДДЛА и СО оказалось наибольшим у молодых испытуемых, промежуточным – у пожилых лиц, бывших спортсменов, наименьшим – у пожилых физически малоактивных лиц [12].

Данный метод был разработан и надежно применялся для оценки регуляции насосной функции сердца J. Saul с коллегами [13, 14] и продолжает применяться многими исследователями в настоящее время [10, 12, 15, 16].

Кровообращение мозга

Известно, что сердечная барорефлекторная функция ослабляется с возрастом [17, 18]. Её ухудшение является неблагоприятным прогностическим индикатором для сердечно-сосудистых заболеваний и может приводить к ортостатической гипотензии, потере равновесия, обмороку, если динамическая церебральная авторегуляция (дЦА) не может компенсировать скачок колебаний артериального давления [19, 20, 21]. Термин «авторегуляция» церебрального кровотока был введен в 1959 году N.A. Lassen [22].

У здоровых молодых взрослых лиц, систолическое артериальное давление, генерированное левым желудочком, эффективно амортизируется (демпфируется) посредством функции эластичной емкости центральных артерий. Следовательно, связанные с физической нагрузкой уменьшения центральной артериальной жесткости могут снизить передачу чрезмерного пульсирующего давления. В соответствии с этими представлениями, ВС демонстрировали более высокую растяжимость каротидной артерии, которая положительно коррелировала с более высокой церебральной перфузией затылочно-теменной области головного мозга [23, 24].

Поскольку мозг чувствителен к изменениям давления крови в сосудах, из-за низкого сопротивления сосудистого русла, то опосредованный барорефлексом контроль давления крови, должен быть важен для поддержания стабильного церебрального кровотока (ЦК), возможно, работающего вместе с дЦА [25]. Регулярное аэробное физическое упражнение уменьшает жесткость баросенсорных артерий и тем самым восстанавливает чувствительность барорефлекса [26, 27].

Известно, что тяжелая мышечная работа при шестикратном увеличении кислородного запроса левого желудочка вызывает примерно 5-кратное возрастание коронарного кровотока [28]. Физические упражнения по мере увеличения нагрузки с 60% до 80% от VO_{2peak} также могут

увеличивать мозговое кровообращение на 40%, 60%, 90% (соответственно в общей сонной артерии, позвоночной артерии и наружной сонной артерии) относительно значений в покое. При этом, проходимость позвоночной и наружной сонной артерий увеличивается соответственно на 15% и 40% [24, 29, 30].

Основываясь на этих данных, V. Aengevaeren с коллегами [31] нашли, что происходит значительное улучшение проявления кардиального барорефлекса у пожилых лиц, бывших ВС, по сравнению с пожилыми лицами, ведущими малоподвижный образ жизни, при этом различий в дЦА не обнаруживается.

Подробно цитируя названных авторов [31], подчеркнем, что поддержание адекватной церебральной перфузии на протяжении повседневной физической активности требует точной регуляции артериального давления (АД) и ЦК [32]. Краткосрочная (в течение нескольких секунд и минут) регуляция АД и ЦК происходит преимущественно под контролем барорефлекса и дЦА [33]. Барорефлекторный контроль АД осуществляется модулированием ЧСС, сократимости сердца и ответом тонуса сосудов на изменения АД [34]. Динамика ЦА направляет способности церебрального сосудистого русла подстраивать свое сопротивление для поддержания адекватной перфузии головного мозга в ответ на транзитные изменения АД [18]. Таким образом, ЦА является внутренним свойством сосудистого русла головного мозга для поддержания адекватной перфузии нервной ткани независимо от изменений давления крови. Для оценки качества ЦА за последние более чем 30 лет было предложено немалое количество методов. Одним из наглядных методов оценки эффективности дЦА является упоминаемый выше анализ передаточной функции сердца. Данный метод представляет собой оценку динамических отношений между давлением крови (стимул или вход) и церебральным потоком крови (ответ или

выход). Для более подробного ознакомления с данной проблемой рекомендуем статьи [35, 36].

Участие монооксида азота

в регуляции просвета микрососудов

Объясняя механизм нейрососудистого сопряжения при регуляции просвета сосудов, как экстракраниальных, так и интракраниальных артерий вплоть до пияльных артериол, T. Tarumi и R. Zhan [24] выделяют главный фактор улучшения этого сопряжения – усовершенствование сосудистой эндотелиальной функции (СЭФ). Действительно, длительные аэробные физические упражнения улучшают СЭФ благодаря усиливающейся регуляции биодоступности окиси (монооксида) азота (NO) [26].

D. Duncker и R. Bache [28] также приводят данные ряда работ, в которых показано усиление способности реагирования зависимой от эндотелия вазодилатации в коронарных микрососудах за счет увеличения экспрессии NO-синтазы, которое происходит в результате длительной мышечной тренировки. Усовершенствование этого механизма, в котором участвуют NO и гемопротейны, хорошо описано для сосудов сердца и скелетных мышц [37, 38]. Показано, что NO регулирует тонус сосудов, как в покое, так и при функциональной их активации, относящиеся к упражнению улучшения эндотелиальной функции, а также к уменьшению риска развития атеросклероза, что также может облегчать церебральную перфузию [39]. Следует отметить, что в последние годы все больше внимания уделяется роли NO экзогенного происхождения в регуляции рабочей гиперемии у спортсменов и эффективности мышечной работы [40, 41, 42, 43].

Структурные и функциональные изменения в головном мозге

При длительных занятиях циклическими видами спорта на выносливость, сопровождающихся улучшением церебральной микроциркуляции, отмечены структурно-функциональные изменения в различных областях головного мозга.

Первый мета-анализ исследований, проведенных с 1966 г. по 2002 г., показал обратную линейную зависимость между интенсивностью физической активности и случаями инсульта и смертности, т.е. высокий уровень физической активности коррелирует с уменьшением риска ишемического и геморрагического инсультов [44]. Несколько раньше в исследованиях на большом числе бывших студентов Гарвардского Университета было показано, что имеется U-форма отношений между относительными рисками инсульта и оцененными еженедельными тратами энергии, рассчитанными по физической активности (ФА). Так, оказалось, что различные формы ФА уменьшают риск развития инсульта при расходовании энергии в 3000 ккал/нед, но далее (по мере роста общих энерготрат в неделю) этот риск снова увеличивался.

Отмечено, что ФА, соответствующая средней интенсивности физических нагрузок (бег не менее 20 км/нед или много-разовые подъемы по лестнице, превышающие 4,5 метаболических эквивалентов) не была связана с риском возникновения инсульта [45].

Современные методы исследований, позволяющие оценить структурные изменения в различных областях мозга по их графическому изображению, параллельно выявили следующие важные морфофункциональные их изменения. Так, используя магнитно-резонансную томографию, W. Freund et al. (цит.: по Takashi, Zhang, 2015) [27] измерили общий объем серого вещества (СВ) у бегунов ультра-марафонцев до и после наиболее длительного (из существующих в практике спорта) соревнования на выносливость. После преодоления дистанции 4487 км за 64 дня (без единого полного дня отдыха, выявлены значительные потери массы тела, а также уменьшение в среднем на 6% общего объема СВ. В то же время естественная возрастная (начиная с 20-30 лет) атрофия СВ головного мозга развивается в темпе 0,2% в год. В отличие от этого у бегунов-

марафонцев, по данным этих авторов, отмечается уменьшение СВ, соответствующее возрастной атрофии за 30 лет жизни. Последующее обследование, проведенное через 8 месяцев после марафонского соревнования, показало восстановление СВ до исходного уровня. Авторы подчеркивают, что подобные потери СВ мозга наблюдаются, когда длительная мышечная работа выполняется без адекватного восстановления.

Механизмы, лежащие в основе этих неблагоприятных влияний на мозг физических нагрузок предельной длительности, окончательно не выяснены. Авторы [27] предполагают, что подобные физические упражнения значительно увеличивают системные катаболические реакции, воспалительный ответ и риск сердечно-сосудистых повреждений, которые могут влиять на структуры и функции головного мозга. Мощное возрастание метаболического запроса тканей организма может привести к системным катаболическим процессам, которые, в свою очередь, могут поставить под угрозу структуры и функции мозга за счет подъема уровня стресс-гормонов (кортизол и др.), изменений электролитного баланса (гипонатриемия), развития воспаления, отека, гипоксии и оксидативного стресса. При нормальных физиологических условиях мозг добывается адекватного притока энергетических веществ поддержанием высокого метаболического запроса нейронных структур благодаря нейро-сосудистому сопряжению и относительно постоянной доставке к ним крови [24, 46]. Ассоциируя изложенные закономерности с проблемой сохранения здоровья головного мозга в пожилом возрасте, подчеркивается необходимость дальнейшего изучения взаимоотношения между интенсивностью и длительностью физических нагрузок и здоровьем мозга, потому что в настоящее время нет достоверно подтвержденного оптимального отношения доза-ответ тренировочного физического упражнения, которое может предотвратить или за-

медлить возрастные структурные повреждения мозга [24].

На основании полученных исследователями результатов следует, констатировать, что объем некоторых регионов головного мозга может увеличиваться в результате относительно короткого периода аэробных посильных физических нагрузок средней интенсивности. При использовании функциональной магнитной резонансной томографии (фМРТ) было установлено, что у пожилых лиц, ведущих малоподвижный образ жизни, наблюдается больший объем гиппокампа и некоторых регионов фронтальных долей в результате прогулочной программы длительностью 6-12 месяцев, по сравнению с контрольной группой, которая выполняла стретчинг (специальные упражнения на растягивание мышц). Сюда также включаются передняя поясная кора, вторичная двигательная область, средняя фронтальная извилина [47, 48]. Кроме того, объем переднего тракта белого вещества (БВ), в особенности колено мозолистого тела, увеличено при многомесячной ходьбе, но не у лиц стретчинг-группы [24, 47].

При использовании фМРТ были получены изображения различных образований и трактов мозга, которые в значительно меньшей степени подвержены возрастным изменениям в группе ВС, по сравнению с лицами, ведущими малоподвижный образ жизни. К ним относятся: вторичная сенсомоторная кора, верхняя теменная доля, вторичная зрительная кора, нижняя затылочная извилина (включая ее как серое, так и белое вещество), а также и другие образования головного мозга [24, 49, 50].

По данным [24] установлено, что структуры мозга, которые в меньшей степени подвержены возрастным изменениям, обеспечивают у ВС значительно более высокий уровень когнитивных функций (в эпизодической памяти, управляющей вниманием и др.) по сравнению с лицами, ведущими малоподвижный образ жизни. Эти закономерности были подтверждены

параллельно проводимым психологическим тестированием.

Заключение

Систематически выполняемая человеком (бывшим спортсменом высокого класса) в течение большей части жизни циклическая мышечная аэробная работа приводит к следующим изменениям в организме.

Во-первых, она оказывает преимущественно благоприятное воздействие на головной мозг, замедляя, связанное с возрастом, ухудшение когнитивных функций.

Во-вторых, она дает преимущество головному мозгу, обеспечивая улучшение его состояния здоровья за счет усовершенствования насосной функции сердца.

В-третьих, она сдерживает, связанное с возрастом, угасание как серого, так и белого вещества головного мозга, особенно в образованиях, определяющих зрительную и пространственную ориентацию организма, контроль за его движениями и состоянием памяти.

Литература

1. Дембо А.Г., Земцовский Э.В. Спортивная кардиология: руководство для врачей. Л.: Медицина, 1989. 464 с.
2. Roman M.J., Ganau A., Saba P.S., Pini R., Pickering T.G., Devereux, R.B. Impact of arterial stiffening on left ventricular structure // Hypertension. 2000. Vol. 36. P. 489-494.
3. Gates P.E., Tanaka H., Graves J., Seals D.R. Left ventricular structure and diastolic function with human ageing. Relation to habitual exercise and arterial stiffness // Eur. Heart. J. 2003. Vol. 24. P. 2213-2220.
4. Kass, D.A. Ventricular arterial stiffening: integrating the pathophysiology // Hypertension. 2005. Vol. 46. P. 185-193.
5. Lakatta E.G. Arterial and cardiac aging: major shareholders in cardiovascular disease enterprises: Part III: cellular and molecular clues to heart and arterial aging // Circulation. 2003. Vol. 107. P. 490-497.
6. Lakatta E.G., Levy D. Arterial and cardiac aging: major shareholders in cardiovascu-

- lar disease enterprises: Part I: aging arteries: a 'set up' for vascular disease // *Circulation*. 2003. Vol. 107. P. 139-146.
7. Arbab-Zadeh A., Dijk E., Prasad A. et al. Effect of aging and physical activity on left ventricular compliance // *Circulation*. 2004. Vol. 110. P. 1799-1805.
 8. Tanaka H., Dinunno F.A., Monahan K.D. et al. Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance // *Circulation*. 2000. Vol. 102. P. 1270-1275.
 9. Seals D.R. Habitual exercise and the age-associated decline in large artery compliance // *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2003. Vol. 31. P. 68-72.
 10. Shibata S., Hastings J., Prasad A. et al. 'Dynamic' Starling mechanism: effects of ageing and physical fitness on ventricular-arterial coupling // *J. Physiol.* 2008. Vol. 586. P. 1951-1962.
 11. Tarumi T., Gonzales M.M., Fallow B. et al. Central artery stiffness, neuropsychological function, and cerebral perfusion in sedentary and endurance-trained middle-aged adults // *J. Hypertens.* 2013. Vol. 31, № 12. P. 2400-2409.
 12. Shibata S., Zhang R., Hastings J. et al. Cascade model of ventricular-arterial coupling and arterial-cardiac baroreflex function for cardiovascular variability in humans // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2006. Vol. 291. H. 2142-2151.
 13. Saul J. P., Berger R.D., Chen M.H., Cohen R. J. Transfer function analysis of autonomic regulation. II. Respiratory sinus arrhythmia // *Am. J. Physiol.* 1989. Vol. 256 (Heart Circ. Physiol. 25). H153-H161.
 14. Saul J.P., Berger R.D., Albrecht P. et al. Transfer function analysis of the circulation: unique insights into cardiovascular regulation // *Am. J. Physiol.* 1991. Vol. 261 (Heart Circ. Physiol. 30). H1231-H1245.
 15. Радченко А.С., Борисенко Н.С., Калиниченко А.Н. и др. Взаимодействие пред- и постнагрузки сердца и RR интервалов при нормобарическом жестком гипоксическом воздействии у молодых здоровых лиц // *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2013. Т. 11, №3. С. 40-49.
 16. Ogoh S., Fisher J.P., Young C.N., Raven P.B., Fadel P.J. Transfer function characteristics of the neural and peripheral arterial baroreflex arcs at rest and during postexercise muscle ischemia in humans // *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.* 2009. Vol. 296. H. 1416-1424.
 17. Carey, B.J., Eames, P.J., Blake, M.J. et al. Dynamic cerebral autoregulation is unaffected by aging // *Stroke*. 2000. Vol. 31. P. 2895-2900.
 18. Burkhart C.S., Rossi A., Dell-Kuster S., Gamberini M., Mockli A., Siegemund M. et al. Effect of age on intraoperative cerebrovascular autoregulation and near-infrared spectroscopy-derived cerebral oxygenation // *Br. J. Anaesth.* 2011. Vol. 107, №5. P. 742-748.
 19. Mattace-Raso F.U., van den Meiracker A.H., Bos W.J. et al. Arterial stiffness, cardiovagal baroreflex sensitivity and postural blood pressure changes in older adults: the Rotterdam Study // *J. Hypertens.* 2007. Vol. 25. P. 1421-1426.
 20. Wieling W., Krediet C.T., van Dijk N. et al. Initial orthostatic hypotension: review of a forgotten condition // *Clin. Sci. (Lond)*. 2007. Vol. 112. P. 157-165.
 21. Zhang, R., Claassen, J.A., Shibata, S. et al. Arterial-cardiac baroreflex function: insights from repeated squat-stand maneuvers // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2009. Vol. 297. R116-R123.
 22. Lassen N.F. Cerebral blood flow and oxygen consumption in man // *Physiol. Rev.* 1959. Vol. 39. P. 183-238.
 23. Tarumi T., Ayaz Khan M., Liu J. et al. Cerebral hemodynamics in normal aging: central artery stiffness, wave reflection, and pressure pulsatility // *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2014. Vol. 34, № 6. P. 971-978.
 24. Tarumi T., Zhang R. The Role of Exercise-Induced Cardiovascular Adaptation in Brain Health // *Exercise & Sport Sciences Review*. 2015. Vol. 43, № 4. P. 181-189.

25. Tzeng Y.C., Lucas S.J., Atkinson G., Willie C.K., Ainslie P.N. Fundamental relationships between arterial baroreflex sensitivity and dynamic cerebral autoregulation in humans // J. Appl. Physiol. 2010. Vol. 108, № 5. P. 1162-1168.
26. Seals D.R., DeSouza C.A., Donato A.J., Tanaka H. Habitual exercise and arterial aging // J. Appl. Physiol. 2008. Vol. 105, №4. P. 1323-1332.
27. Freund W., Faust S., Birklein F. et al. Substantial and reversible brain gray matter reduction but no acute brain lesions in ultramarathon runners: experience from the Trans Europe-Foot Race Project // BMC Med. 2012. Vol. 10. P. 170.
28. Duncker, D.J., Bache, R.J. Regulation of Coronary Blood Flow During Exercise // Physiol. Rev. 2008. Vol. 88. P. 1009-1086.
29. Hawley, J.A., Hargreaves, M., Joyner, M.J., Zierath, J.R. Integrative biology of exercise // Cell. 2014. Vol. 159, № 4. P. 738-749.
30. Sato K., Ogoh S., Hirasawa A., Oue A., Sadamoto T. The distribution of bloodflow in the carotid and vertebral arteries during dynamic exercise in humans // J. Physiol. 2011. Vol. 589(Pt 11). P. 2847-2856.
31. Aengevaeren V.L., Claassen J.A.H.R., Levine B.D., Zhang R. Cardiac baroreflex function and dynamic cerebral autoregulation in elderly Masters athletes // J. Applied Physiol. 2013. Vol. 114, №2. P. 195-202.
32. Panerai R.B., White R.P., Markus H.S., Evans D.H. Grading of cerebral dynamic autoregulation from spontaneous fluctuations in arterial blood pressure // Stroke. 1998. Vol. 29. P. 2341-2346.
33. van Beek A.H., OldeRikkert M.G., Pasma J.W., Hopman M.T., Claassen J.A. Dynamic cerebral autoregulation in the old using a repeated sit-stand maneuver // Ultrasound Med. Biol. 2010. Vol. 36. P. 192-201.
34. Monahan K.D. Effect of aging on baroreflex function in humans // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2007. Vol. 293. R3-12.
35. van Beek A., Claassen J., Rikkert M., Jansen R. Cerebral Autoregulation: An Overview of Current Concepts and Methodology with Special Focus on the Elderly // J. Cereb. Blood Flow Metab. 2008. Vol. 28, №6. P. 1071-1085.
36. Claassen, J., van den Abeelen A., Simpson, D., Panerai, R. Transfer function analysis of dynamic cerebral autoregulation: A white paper from the International Cerebral Autoregulation Research Network // J. Cereb. Blood Flow Metab. 2016 January 18.
37. Totzeck M., Hendgen-Cotta U.B., Kelm M., Rassaf T. Crosstalk between Nitrite, Myoglobin and Reactive Oxygen Species to Regulate Vasodilation under Hypoxia // PLoS One (Public Library of Science). 2014. Vol. 9, №8. eCollection 2014.
38. Hellsten Y., Nyberg M., Mortensen S.P. Contribution of intravascular *versus* interstitial purines and nitric oxide in the regulation of exercise hyperaemia in humans // J. Physiol. 2012. Vol. 590. P. 5015-5023.
39. Casserly, I., Topol, E. Convergence of atherosclerosis and Alzheimer's disease: inflammation, cholesterol, and misfolded proteins // Lancet. 2004. Vol. 363(9415). P. 1139-1146.
40. Muggeridge D.J., Howe C.C.F., Spendiff O. et al. A Single Dose of Beetroot Juice Enhances Cycling Performance in Simulated Altitude // Med. Sci. Sports Excer. 2014. Vol. 46, №1. P. 143-150.
41. Bailey S.J., Fulford J., Vanhatalo A. et al. Dietary nitrate supplementation enhances muscle contractile efficiency during knee-extensor exercise in humans // J. Appl. Physiol. 2010. Vol. 109, №1. P. 135-148.
42. Bailey, J.C., Feelisch, M., Horowitz, J.D. et al. Pharmacology and therapeutic role of inorganic nitrite and nitrate in vasodilatation // Pharmacol. Therapeutics. 2014. Vol. 144, № 3. P. 303-320.
43. Larsen F.J., Schiffer T.A., Borniquel S. et al. Dietary Inorganic Nitrate Improves Mitochondrial Efficiency in Humans // Cell Metabolism. 2011. Vol. 13. P. 149-159.

44. Lee C.D., Folsom A.R., Blair, S.N. Physical activity and stroke risk // *Stroke*. 2003. Vol. 34. P. 2475-2481.
45. Lee I.M., Paffenbarger R.S. Physical activity and stroke incidence: the Harvard Alumni Health Study // *Stroke*. 1998. Vol. 29, № 10. P. 2049-2054.
46. Ayus J.C., Varon J., Arieff A.I. Hyponatremia, cerebral edema, and noncardiogenic pulmonary edema in marathon runners // *Ann. Intern. Med.* 2000. Vol. 132, № 9. P. 711-714.
47. Colcombe, S.J., Erickson, K.L., Scalf, P.E. et al. Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans // *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 2006. Vol. 61, №11. P. 1166-1170.
48. Erickson, K.L., Voss, M.W., Prakash, R.S. et al. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2011. Vol. 108, № 7. P. 3017-3022.
49. Tseng B.Y., Uh J., Rossetti H.C. et al. Masters athletes exhibit larger regional brain volume and better cognitive performance than sedentary older adults // *J. Magn. Reson. Imaging*. 2013. Vol. 38, № 5. P. 1169-1176.
50. Voss M.W., Heo S., Prakash R.S. et al. The influence of aerobic fitness on cerebral white matter integrity and cognitive function in older adults: results of a one-year exercise intervention // *Hum. Brain Mapp.* 2013. Vol. 34, №11. P. 2972-2985.
4. Kass DA. Ventricular arterial stiffening: integrating the pathophysiology. *Hypertension*. 2005; 46: 185-193.
5. Lakatta EG. Arterial and cardiac aging: major shareholders in cardiovascular disease enterprises: Part III: cellular and molecular clues to heart and arterial aging. *Circulation*. 2003; 107: 490-497.
6. Lakatta EG, Levy D. Arterial and cardiac aging: major shareholders in cardiovascular disease enterprises: Part I: aging arteries: a 'set up' for vascular disease. *Circulation*. 2003; 107: 139-146.
7. Arbab-Zadeh A, Dijk E, Prasad A et al. Effect of aging and physical activity on left ventricular compliance. *Circulation*. 2004; 110: 1799-1805.
8. Tanaka H, Dinunno FA, Monahan KD et al. Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation*. 2000; 102: 1270-1275.
9. Seals DR. Habitual exercise and the age-associated decline in large artery compliance. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2003; 31: 68-72.
10. Shibata S, Zhang R, Hastings J et al. Cascade model of ventricular-arterial coupling and arterial-cardiac baroreflex function for cardiovascular variability in humans. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2006; 291: H2142-2151.
11. Tarumi T, Gonzales MM, Fallow B et al. Central artery stiffness, neuropsychological function, and cerebral perfusion in sedentary and endurance-trained middle-aged adults. *J. Hypertens.* 2013; 31 (12): 2400-2409.
12. Shibata S, Hastings J, Prasad A et al. 'Dynamic' Starling mechanism: effects of ageing and physical fitness on ventricular-arterial coupling. *J. Physiol.* 2008; 586: 1951-1962.
13. Saul J P, Berger RD, Chen MH, Cohen R J. Transfer function analysis of autonomic regulation. II. Respiratory sinus arrhythmia. *Am. J. Physiol.* 1989; 256 (Heart Circ. Physiol. 25): H153-161.
14. Saul JP, Berger RD, Albrecht P et al. Transfer function analysis of the circula-

References

1. Dembo AG, Zemcovskij JeV. *Sportivnaja kardiologija: rukovodstvo dlja vrachej* [Sports cardiology: governance for doctors]. Leningrad: Medicine; 1989. 464 p.
2. Roman MJ, Ganau A, Saba PS, Pini R, Pickering TG, Devereux RB. Impact of arterial stiffening on left ventricular structure. *Hypertension*. 2000; 36: 489-494.
3. Gates PE, Tanaka H, Graves J, Seals DR. Left ventricular structure and diastolic function with human ageing. Relation to habitual exercise and arterial stiffness. *Eur. Heart. J.* 2003; 24: 2213-2220.

- tion: unique insights into cardiovascular regulation. *Am. J. Physiol.* 1991; 261 (Heart Circ. Physiol. 30): H1231-1245.
15. Radchenko AS, Borisenko NS, Kalinichenko AN i dr. Vzaimodejstvie pred- i postnagruzki serdca i RR intervalov pri normobaricheskom zhestkom gipoksi-cheskom vozeystvii u molodyh zdorovyh lic [The interaction of pre- and afterload and cardiac RR intervals during hard normobaric hypoxic exposure in young healthy individuals]. *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoj terapii* [Reports of clinical pharmacology and drug therapy]. 2013;11(3): 40-49.
16. Ogoh S, Fisher JP, Young CN, Raven PB, Fadel PJ. Transfer function characteristics of the neural and peripheral arterial baroreflex arcs at rest and during post-exercise muscle ischemia in humans. *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.* 2009; 296: H.1416-1424.
17. Carey BJ, Eames PJ, Blake MJ et al. Dynamic cerebral autoregulation is unaffected by aging. *Stroke.* 2000; 31: 2895-2900.
18. Burkhart CS, Rossi A, Dell-Kuster S, Gamberini M, Mockli A, Siegemund M et al. Effect of age on intraoperative cerebrovascular autoregulation and near-infrared spectroscopy-derived cerebral oxygenation. *Br. J. Anaesth.* 2011; 107 (5): 742-748.
19. Mattace-Raso FU, van den Meiracker AH, Bos WJ et al. Arterial stiffness, cardiovascular baroreflex sensitivity and postural blood pressure changes in older adults: the Rotterdam Study. *J. Hypertens.* 2007; 25: 1421-1426.
20. Wieling W, Krediet CT, van Dijk N et al. Initial orthostatic hypotension: review of a forgotten condition. *Clin. Sci. (Lond).* 2007; 112: 157-165.
21. Zhang R, Claassen JA, Shibata S et al. Arterial-cardiac baroreflex function: insights from repeated squat-stand maneuvers. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2009; 297: R116-123.
22. Lassen NF. Cerebral blood flow and oxygen consumption in man. *Physiol. Rev.* 1959; 39: 183-238.
23. Tarumi T, Ayaz Khan M, Liu J et al. Cerebral hemodynamics in normal aging: central artery stiffness, wave reflection, and pressure pulsatility. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2014; 34 (6): 971-978.
24. Tarumi T, Zhang R. The Role of Exercise-Induced Cardiovascular Adaptation in Brain Health. *Exercise & Sport Sciences Review.* 2015; 43 (4): 181-189.
25. Tzeng YC, Lucas SJ, Atkinson G, Willie CK, Ainslie PN. Fundamental relationships between arterial baroreflex sensitivity and dynamic cerebral autoregulation in humans. *J. Appl. Physiol.* 2010; 108 (5): 1162-1168.
26. Seals DR, DeSouza CA, Donato AJ, Tanaka H. Habitual exercise and arterial aging. *J. Appl. Physiol.* 2008; 105 (4): 1323-1332.
27. Freund W, Faust S, Birklein F et al. Substantial and reversible brain gray matter reduction but no acute brain lesions in ultramarathon runners: experience from the TransEurope-FootRace Project. *BMC Med.* 2012; 10: 170.
28. Duncker DJ, Bache RJ. Regulation of Coronary Blood Flow During Exercise. *Physiol. Rev.* 2008; 88: 1009-1086.
29. Hawley JA, Hargreaves M, Joyner MJ, Zierath JR. Integrative biology of exercise. *Cell.* 2014; 159 (4): 738-749.
30. Sato K, Ogoh S, Hirasawa A, Oue A, Sadamoto T. The distribution of blood-flow in the carotid and vertebral arteries during dynamic exercise in humans. *J. Physiol.* 2011; 589(11): 2847-2856.
31. Aengevaeren VL, Claassen JA, Levine BD, Zhang R. Cardiac baroreflex function and dynamic cerebral autoregulation in elderly Masters athletes. *J. Applied Physiol.* 2013; 114 (2): 195-202.
32. Panerai RB, White RP, Markus HS, Evans DH. Grading of cerebral dynamic autoregulation from spontaneous fluctuations in arterial blood pressure. *Stroke.* 1998; 29: 2341-2346.
33. van Beek AH, Olde Rikkert MG, Pasman JW, Hopman MT, Claassen JA. Dynamic cerebral autoregulation in the old using a

- repeated sit-stand maneuver. *Ultrasound Med. Biol.* 2010; 36: 192-201.
34. Monahan KD. Effect of aging on baroreflex function in humans. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2007; 293: R3-12.
35. van Beek A, Claassen J, Rikkert M, Jansen R. Cerebral Autoregulation: An Overview of Current Concepts and Methodology with Special Focus on the Elderly. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2008; 28 (6): 1071-1085.
36. Claassen J, van den Abeelen A, Simpson D, Panerai R. Transfer function analysis of dynamic cerebral autoregulation: A white paper from the International Cerebral Autoregulation Research Network. *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2016 January 18.
37. Totzeck M, Hendgen-Cotta UB, Kelm M, Rassaf T. Crosstalk between Nitrite, Myoglobin and Reactive Oxygen Species to Regulate Vasodilation under Hypoxia. *PLoS One* (Public Library of Science). 2014;9 (8). eCollection 2014.
38. Hellsten Y, Nyberg M, Mortensen SP. Contribution of intravascular *versus* interstitial purines and nitric oxide in the regulation of exercise hyperaemia in humans. *J. Physiol.* 2012; 590: 5015-5023.
39. Casserly I, Topol E. Convergence of atherosclerosis and Alzheimer's disease: inflammation, cholesterol, and misfolded proteins. *Lancet.* 2004; 363(9415): 1139-1146.
40. Muggeridge DJ, Howe CCF, Spendiff O et al. A Single Dose of Beetroot Juice Enhances Cycling Performance in Simulated Altitude. *Med. Sci. Sports Excer.* 2014; 46 (1): 143-150.
41. Bailey SJ, Fulford J, Vanhatalo A et al. Dietary nitrate supplementation enhances muscle contractile efficiency during knee-extensor exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 2010; 109 (1): 135-148.
42. Bailey JC, Feelisch M, Horowitz JD et al. Pharmacology and therapeutic role of inorganic nitrite and nitrate in vasodilation. *Pharmacol. Therapeutics.* 2014; 144 (3): 303-320.
43. Larsen FJ, Schiffer TA, Borniquel S et al. Dietary Inorganic Nitrate Improves Mitochondrial Efficiency in Humans. *Cell Metabolism.* 2011; 13: 149-159.
44. Lee CD, Folsom AR, Blair SN. Physical activity and stroke risk. *Stroke.* 2003; 34: 2475-2481.
45. Lee IM, Paffenbarger RS. Physical activity and stroke incidence: the Harvard Alumni Health Study. *Stroke.* 1998; 29 (10): 2049-2054.
46. Ayus JC, Varon J, Arieff AI. Hyponatremia, cerebral edema, and noncardiogenic pulmonary edema in marathon runners. *Ann. Intern. Med.* 2000; 132 (9): 711-714.
47. Colcombe SJ, Erickson KL, Scalf PE et al. Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 2006; 61(11): 1166-1170.
48. Erickson KL, Voss MW, Prakash RS et al. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2011; 108 (7): 3017-3022.
49. Tseng BY, Uh J, Rossetti HC et al. Masters athletes exhibit larger regional brain volume and better cognitive performance than sedentary older adults. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2013; 38, № 5. P. 1169-1176.
50. Voss MW, Heo S, Prakash RS et al. The influence of aerobic fitness on cerebral white matter integrity and cognitive function in older adults: results of a one-year exercise intervention. *Hum. Brain Mapp.* 2013; 34 (11): 2972-2985.

Радченко А.С. – д.б.н., профессор кафедры физического воспитания Санкт-Петербургского гуманитарного университета профсоюзов, г. Санкт-Петербург.

E-mail: radtcha@mail.ru

Давыдов В.В. – д.м.н., профессор кафедры патофизиологии ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, г. Рязань.

E-mail: davydov.vik@yandex.ru

Калининченко А.Н. – д.т.н., профессор кафедры биотехнических систем ФГБОУВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург.

E-mail: ank-bs@yandex.ru