

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 616-009.2:612.76

DOI 10.34014/2227-1848-2023-2-132-144

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РИСКОВ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ НИЗКОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Н.В. Сибирякова

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России,
г. Астрахань, Россия

Биологическая потребность в движении, которая присуща всем живым организмам и в т.ч. человеку, определяет его функциональные возможности и работоспособность. Однако изменение образа жизни современного человека привело к ограничению его двигательной активности. Особую обеспокоенность в этом плане вызывает молодое, подрастающее поколение. В опубликованном ВОЗ в мае 2017 г. докладе «Глобальные ускоренные действия в интересах здоровья подростков (АА-НА!): руководство для содействия осуществлению в странах» отмечено, что более 3000 подростков каждый год умирает от предотвратимых причин и многие ключевые факторы риска заболеваний во взрослом возрасте начинают действовать или закрепляются в подростковом возрасте. Низкий уровень физической активности населения, наблюдаемый по всему миру, является фактором риска развития многих функциональных отклонений и заболеваний.

Физиологические механизмы физической активности пристально изучаются. Имеется большое количество публикаций, посвященных изучению воздействия физических нагрузок на состояние физиологических процессов. Однако эти исследования носят разрозненный характер в связи с постоянно меняющимися факторами жизнедеятельности человека в последние годы (карантинные мероприятия, дистанционное обучение, удаленная работа).

В статье проведен систематический обзор публикаций, посвященных изучению влияния уровня физической активности на физиологические процессы организма. Использованы базы данных Medline, Scopus, Pubmed, Cochrane, Embase, Web of Science, Google Scholar, eLIBRARY, Cyberleninka. Поиск проведен по ключевым словам «физическая активность», «низкий уровень физической активности», «сидячий образ жизни», «гипокинезия», «гиподинамия».

Ключевые слова: гипокинезия, гиподинамия, физическая активность, сидячий образ жизни.

Введение. Здоровье населения как национальное богатство имеет исключительное значение в сохранении и развитии социума. В настоящее время крайняя обеспокоенность мировой общественности проблемой снижения уровня здоровья трудоспособного и детского населения отражается в разработке глобальных, национальных и локальных программ, направленных на изучение причин ухудшения здоровья, а также в разработке мероприятий по его сохранению и укреплению [1–4].

Результаты российских лонгитюдных наблюдений, а также данные Росстата о забо-

леваемости среди детей и молодежи указывают на снижение потенциала здоровья населения нашей страны и особенно молодого поколения [5]. Эта возрастная группа отличается также большей склонностью к саморазрушительному поведению [6].

Снижение уровня здоровья обуславливается воздействием комплекса факторов, среди которых большое значение имеют образ жизни, условия проживания, уровень благосостояния страны и региона, доступность медицинской помощи. Существенную роль в структуре факторов, негативно влияющих на состо-

яние здоровья человека, играет снижение двигательной активности. Распространение гипокинезии и гиподинамии связывается с широким внедрением дистанционных технологий, активным использованием электронных устройств в повседневной жизни, ростом доли автоматизированного труда, снижением мотивации к занятию спортом, низкой доступностью объектов спортивной инфраструктуры.

Одним из направлений национальной программы «Демография», разработанной во исполнение Указа Президента Российской Федерации от 7.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», является укрепление общественного здоровья, а также увеличение доли граждан, регулярно занимающихся спортом. Однако, согласно исследованию Российского экономического университета им. Плеханова, только 40 % россиян систематически занимаются физической культурой и спортом при целевом значении 70 % к 2030 г.

Недостаточная физическая активность населения в настоящее время признается четвертой по значимости причиной смерти и одной из основных проблем общественного здравоохранения в развитых странах [7].

Изучение физиологических изменений, происходящих в организме как в условиях гипокинезии, так и в условиях достаточной или избыточной физической нагрузки, будет способствовать развитию медицины в направлении нивелирования влияния негативных факторов образа жизни.

Целью данного обзора стало обобщение результатов исследований физиологических процессов, происходящих в организме в условиях малоподвижного образа жизни.

Некоторые физиологические аспекты влияния низкой физической активности. Одним из характерных свойств организма является биологическая потребность в движении, которая определяет его функциональное состояние и работоспособность. Гипокинезия (сниженная двигательная активность, обусловленная физиологической незрелостью организма, условиями работы, заболеваниями и другими причинами) и гиподинамия (сниже-

ние силы мышечных сокращений) характеризуются недостаточной нагрузкой на скелетно-мышечную систему, что приводит к дефициту потребности в движении. Физические нагрузки оказывают комплексное влияние на организм человека, поскольку в процесс движения вовлекаются практически все системы организма, включая центральную нервную, сердечно-сосудистую, дыхательную, эндокринную и др. [8].

Нервная система. Известно, что образ жизни и питание могут провоцировать эпигенетические нарушения, приводящие посредством модификации структуры хроматина и экспрессии генов к наследственным метаболическим изменениям. Малоподвижный образ жизни способствует развитию старения и дегенерации головного мозга.

Нейрофизиологической основой реализации двигательных процессов является так называемый интероцептивный двигательный анализатор, состоящий из трех звеньев: воспринимающего, проводникового и коркового [9]. Тесное взаимное расположение мотонейронов коркового отдела двигательного анализатора и таких важных центров, как, например, речедвигательный, объясняет их интегративную роль в регуляции разнородных динамических процессов.

Многочисленные экспериментальные исследования доказывают негативное влияние гипокинезии на структуры и деятельность центральной нервной системы. В исследованиях С.А. Лобанова и соавт., проведенных на крысах, находящихся в условиях гиподинамии в течение 90 сут, установлено, что адаптация к гиподинамичному ритму жизни у животных сопряжена со снижением возбудимости мозжечка и скорости метаболизма, что вызвало деструктивные процессы в различных клеточных органеллах [10]. По данным Е.Б. Сологуб, только 80 % крыс, содержащихся в условиях гипокинезии в течение месяца, выжили после эксперимента [11]. Изменения, наблюдаемые в центральной нервной системе, обусловлены асинапсией, приводящей к потере многих межцентральных взаимосвязей. При этом отмечаются как нарушения координации двигательных актов, так и изменения в психоэмо-

циональной сфере. Напротив, увеличение физической активности, по мнению S. Sumińska et al., положительно влияет на когнитивные функции, в т.ч. на память и внимание [12].

Ранее предполагалось, что погибшие нейроны не заменяются новыми, чем и обосновывалась нейродегенерация, а также снижение когнитивных функций у пожилых людей. Однако исследования 1960-х гг. свидетельствуют о том, что у млекопитающих новые нейроны могут образовываться во взрослом периоде жизни в субгранулярной зоне зубчатой извилины гиппокампа, а также в субвентрикулярной зоне боковых желудочков. Восстановление нейронов гиппокампа чрезвычайно важно, так как он участвует в формировании эпизодической и пространственной памяти, нарушение которой часто характерно для людей пожилого возраста, а также является одной из причин снижения качества жизни людей с синдромом Альцгеймера.

Одним из важнейших факторов восстановления погибших нейронов и поддержания их функционирования считается мозговой нейротрофический фактор (BDNF). Влияние BDNF на нейрогенез отражено во многих научных трудах. В исследованиях V. Pencea et al. и H. Scharfman показано, что внутрижелудочковое введение BDNF способствует нейрогенезу в полосатом теле, перегородке, таламусе и гипоталамусе мозга у крыс, а введение в гиппокамп увеличивает число зернистых клеток в зубчатой извилине [13, 14].

В настоящее время появляется все больше исследований, демонстрирующих позитивное влияние физических нагрузок, обусловленное факторами, высвобождающимися при сокращении мышц, на высшую нервную деятельность [15–18].

E. Lezi et al. в эксперименте, проведенном с использованием старых крыс на беговой дорожке, установили, что упражнения усиливают нейрогенез в гиппокампе [19].

C.M. Di Liegro et al. предположили, что физическая нагрузка может опосредованно воздействовать на функции мозга. Физические упражнения обеспечивают высвобождение миокинов, в т.ч. мозгового нейротрофического фактора, а также метаболитов в крово-

ток. Эти вещества, преодолевая гематоэнцефалический барьер, влияют на функции как нейронов, так и глиальных клеток, модифицируя нейротрансмиссию в различных областях мозга. Нейротрансмиссия может в свою очередь активировать пути модификации экспрессии генов [20].

Кроме того, экспрессия BDNF активируется инсулиноподобным фактором роста 1 (IGF-1), который также вырабатывается во время физической активности и способен проникать через гематоэнцефалический барьер [20].

Гипокинезия обуславливает уменьшение концентрации катепсина-B в плазме, что также приводит к снижению экспрессии BDNF в гиппокампе и, соответственно, к нейрогенезу [21, 22].

По всей видимости, BDNF стимулирует митохондриальный биогенез, опосредуя влияние физических упражнений на когнитивные функции, что связано с повышенными катаболическими потребностями и более высоким производством активных форм кислорода вследствие повышенной митохондриальной активности.

Интересны исследования, посвященные вопросу влияния физической активности на выработку нейротрансмиттеров [23]. Нейротрансмиттеры и нейротрофины обеспечивают нейропластичность головного мозга, что улучшает когнитивные функции человека. Одним из таких факторов является дофамин, способный улучшать настроение людей в период физической активности.

Таким образом, низкая физическая активность приводит не только к снижению синтеза важнейших факторов регуляции высшей нервной деятельности, но и к структурным и эпигенетическим изменениям нервных клеток.

Сердечно-сосудистая система. В настоящее время выявлена прямая взаимосвязь между гиподинамией и развитием заболевания сердечно-сосудистой системы, в частности язвенного атеросклероза и коронарной и сердечной недостаточности [24–28]. В исследованиях В.В. Альфонсова и Е.В. Альфонсовой продемонстрировано влияние длительной гипокинезии на свертывающую систему крови: уменьшение потока импульсов в цен-

тральную нервную систему способствует развитию гипокоагуляции, которая в период адаптации сменяется гиперкоагуляцией [24]. Е.Э. Сигалевой и соавт. установлено, что при клинко-физиологической адаптации организма человека к условиям антиортостатической гипокинезии наиболее значимой клинической патологией является тромбоз мелких ветвей легочной артерии и эпизоды нарушения сердечного ритма [25, 26].

Согласно исследованиям Н.Г. Мальцевой и Т.Г. Кузнецовой проявление компенсаторно-приспособительной реакции миокарда на гипокинезию зависит от длительности последней. На ранних сроках наблюдается выраженная стрессовая реакция, однако к 30-м сут запускаются регенераторно-пластические процессы, которые истощают резервные возможности и вызывают необратимые структурные изменения. Отмечается непропорциональное снижение массы тела животных и массы сердца (рост относительной массы сердца), расширение коронарной сети и отеки межмышечного пространства, уплотнение и уменьшение ядер кардиомиоцитов, нарушение целостности хондриома, снижение энергетической обеспеченности миокарда [27].

А.С. Чинкин также показал, что при гипокинезии снижается эффективность механизмов саморегуляции сократимости миокарда без компенсации повышением адренергических инотропных влияний. Наиболее эффективно механизмы сократительной функции миокарда реализуются при умеренной мышечной работе, развивающей выносливость [29].

D. Aune et al. приводят данные, свидетельствующие о снижении риска развития сердечной недостаточности при высоком уровне общей физической активности и активности в свободное время в сочетании с кардиореспираторной физической подготовкой [30].

Влияние уровня физической активности на артериальное давление освещено во многих исследованиях. Известно, что артериальное давление зависит главным образом от структуры и функционального состояния сосудов, определяющих общее периферическое сопротивление. Одним из структурных составляющих, непосредственно влияющих на

сосудистый тонус, является эндотелий сосудов, продуцирующий как вазодилатирующие, так и вазоконстрикторные факторы. Особую роль играет оксид азота, образующийся в клетках эндотелия из L-аргинина. Вазодилатирующие свойства оксида азота определяются увеличением образования цГМФ в гладкомышечных клетках. Эндотелиальная дисфункция, провоцирующая нарушение сосудистого тонуса, в значительной степени зависит от биодоступности оксида азота. В исследованиях E.A. Bakker et al. установлено, что физическая нагрузка повышает биодоступность оксида азота, что поддерживает и усиливает функцию эндотелия [31, 32]. Согласно L.J. Boyle et al. снижение физической активности до уровня менее 5000 шагов в день всего за несколько дней ухудшает опосредованную потоком вазодилатацию [33].

Кроме того, физическая нагрузка нормализует активность симпатического отдела вегетативной нервной системы, снижая ее влияние на уровень артериального давления. Представляет интерес выявленный H. Такака факт снижения при аэробной нагрузке жесткости артериальной стенки, что положительно сказывается на уровне артериального давления [38]. Однако в ряде исследований установлено, что высокоинтенсивные упражнения, особенно в молодом возрасте, способствуют повышению тонуса сосудов (сосудосуживающее действие), и, кроме того, на фоне снижения влияния вагуса на ритмообразовательные процессы сердца происходит нарастающее разобщение между сердечно-сосудистой и дыхательной системами [34–43].

Метаболизм. Нельзя не отметить выраженное влияние гиподинамии на метаболические процессы организма. Некоторыми исследованиями подтверждается развитие характерной стрессовой реакции с усилением интенсивности свободнорадикальных реакций и накоплением продуктов липопероксидации в результате длительной гиподинамии. Этот процесс во многом определяет метаболические сдвиги, в т.ч. нарушения обмена белков, углеводов, липидов и пуринов [44].

Снижение антиоксидантной защиты, а также содержания холестерина в скелетной

мышце, который является стабилизатором лизосомальных мембран, приводит к деградации клеточных мембран и выходу лизосомальных ферментов в скелетной мышце, атрофии, ферментемии и преобладанию процессов катаболизма [45].

Кроме того, малоподвижный образ жизни снижает активность липопротеинлипазы в скелетных мышцах, что приводит к нарушению метаболизма липидов (повышению уровня триглицеридов в крови, снижению концентрации холестерина и липопротеинов высокой плотности).

Согласно исследованиям Г.С. Маль и соавт. в крови лиц с гиподинамией отмечается дисбаланс метаболитов арахидоновой кислоты, а также повышение агрегатных свойств эритроцитов. При этом спортивные тренировки после периода длительной гиподинамии способствуют замедлению процессов перекисного окисления липидов и снижению агрегационной способности эритроцитов [46].

Гипокинезия приводит к снижению метаболической активности скелетных мышц, что выражается в снижении содержания белка GLUT4 – переносчика глюкозы, гексокиназы II и сиртуина I, а также в активации гликогенсинтазы, что обуславливает развитие инсулинорезистентности. По данным С. Zheng et al., иммобилизация приводит к снижению чувствительности всего организма к инсулину на 10–34 % [47].

Нельзя не отметить, что у здоровых людей, ведущих малоподвижный образ жизни, изменяются гуморальные и психологические механизмы регуляции аппетита, что приводит к возникновению положительного энергетического баланса. Сочетание последнего с низким уровнем физической активности усугубляет инсулинорезистентность, способствует накоплению жира и катаболизму мышечной массы тела, что усиливает окислительный стресс. Воспаление и окислительно-восстановительный стресс ускоряют процессы утилизации трипептида глутатиона – основного субстрата, защищающего клетки от окислительного стресса [47–52]. Окислительный стресс и нейровоспалительные механизмы могут являться причиной развития депрессивных рас-

стройств, а длительная нейровоспалительная реакция может приводить к нарушению психического и физического здоровья [53].

Костно-мышечная система. Установлена зависимость между мышечной нагрузкой и строением костной ткани. При снижении мышечной нагрузки отмечается потеря кальция костной тканью и увеличение его концентрации в плазме, уменьшение костной массы, снижение минерализации, а также снижение количества поперечных связей коллагена. Гипокинезия приводит к снижению влияния мышц на кости с возможным изменением размеров последних. Физическая нагрузка, напротив, способствует повышению плотности костной ткани, которая, несмотря на снижение физической активности с возрастом, сохраняется. Однако реакция костной ткани на механические раздражители зависит от возраста, пола, метаболических и гормональных процессов, происходящих в организме, а также величины, продолжительности и частоты стимулов [54–57].

Данные, приведенные Narici et al., указывают на развитие повреждения нервно-мышечного синапса и денервацию мышц в результате нейродегенеративных процессов, возникающих на фоне сниженной физической активности, а также на сдвиг изоформ миозина в сторону быстрого типа [57]. При этом на уровне отдельных волокон выявляются атрофия и потеря сократительной способности на единицу площади поперечного сечения. Мышечная атрофия наблюдается уже спустя два дня после иммобилизации, что связывается со снижением механических раздражителей, как прямо, так и косвенно стимулирующих синтез белка и склоняющих баланс к его деградации [58–60].

Заключение. Негативное влияние сниженной мышечной активности на организм подтверждается многочисленными исследованиями, причем наблюдаемые изменения носят не только функциональный, но и морфологический характер и проявляются в т.ч. на уровне структурных компонентов клетки. Нарушения, вызванные дефицитом физической активности, на начальных стадиях носят в основном обратимый характер. Скорость

восстановления организма после периода сниженной физической активности зависит от его продолжительности. Изменения, произошедшие в физиологических системах за короткий период гипокинезии и/или гиподинамии, достаточно быстро нивелируются, что свидетельствует о высокой адаптивной способности организма. Даже полная, но кратковременная иммобилизация не вызывает необратимых изменений в организме. Однако продолжительные периоды сниженной физической активности, обусловленные прежде всего

внешними факторами (дистанционный формат работы, учебы, карантинные ограничения и др.), наносят большой ущерб организму, определяя развитие дезадаптации на фоне истощения функциональных резервов, а также морфологических нарушений на тканевом и клеточном уровнях, способствуя развитию заболеваний. Таким образом, исследования, посвященные изучению причин низкой физической активности, ее последствий и методов профилактики, являются весьма актуальными в условиях современной жизни.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Global Accelerated Action for the Health of Adolescents (AA-HA!): Guidance to Support Country Implementation. WHO / UN / UNICEF / UNAIDS / UNFPA / World Bank World Health Organization. Geneva; 2017. 176.
2. Saunders T.J., Gray C.E., Poitras V.J., Chaput J.P., Janssen I., Katzmarzyk P.T., Olds T., Connor Gorber S., Kho M.E., Sampson M., Tremblay M.S., Carson V. Combinations of physical activity, sedentary behaviour and sleep: relationships with health indicators in school-aged children and youth. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016; 41 (6, Suppl 3): 283–293. DOI: 10.1139/apnm-2015-0626.
3. Boudet G., Chausse P., Thivel D., Rousset S., Mermillod M., Baker J.S., Parreira L.M., Esquirol Y., Duclos M., Dutheil F. How to Measure Sedentary Behavior at Work? *Front Public Health.* 2019; 7: 167. DOI: 10.3389/fpubh.2019.00167.
4. Яманова Г.А., Антонова А.А. Значимость факторов образовательного пространства в формировании здоровья детей. *Профилактическая медицина.* 2022; 25 (2): 113–118. DOI: 0.17116/prof-med202225021113.
5. Шабунова А.А., Морев М.В., Кондакова Н.А. Здоровье детей: итоги пятнадцатилетнего мониторинга. Вологда: ИСЭРТ РАН; 2012. 262.
6. Томарова Л.С., Власенко С.Ю. Здоровье молодежи в современном мире. *OlymPlus (Гуманитарная версия): международный научно-практический журнал.* 2022; 1 (14): 76–78.
7. Capodaglio E.M. Attività fisica, strumento di prevenzione e gestione delle malattie croniche. *G Ital Med Lav Ergon.* 2018; 40 (2): 106–119.
8. Гришан М.А. Физиологические последствия гиподинамии для организма человека. *Здоровье и образование в XXI веке.* 2018; 20 (12): 70–73.
9. Кузнецов О.Ю., Петрова Г.С. Физиологические основы стимуляции активности интеллектуальной деятельности студентов средствами физического воспитания. *Известия Тульского государственного университета. Гуманитарные науки.* 2013; 1: 357–362.
10. Лобанов С.А., Емелева Т.Ф., Данилов А.В., Данилов Е.В., Асаева С.К., Арсланова Г.Ф. Гиподинамия как стрессовый фактор. *Медицинский вестник Башкортостана.* 2006; 1 (1): 72–74.
11. Солодков А.С., Сологуб Е.Б. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная: учебник. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Терра-Спорт, Олимпия Пресс; 2005. 528. ISBN 5-94299-037-9.
12. Sumińska S. Wpływ aktywności fizycznej na sprawność poznawczą. *Medycyna pracy.* 31; 72 (4): 437–450. DOI: 10.13075/mp.5893.01103.
13. Pencea V., Bingaman K.D., Wiegand S.J., Luskin M.B. Infusion of brain-derived neurotrophic factor into the lateral ventricle of the adult rat leads to new neurons in the parenchyma of the striatum, septum, thalamus, and hypothalamus. *J. Neurosci.* 2001; 21 (17): 6706–6717.
14. Scharfman H., Goodman J., Macleod A., Phani S., Antonelli C., Croll S. Increased neurogenesis and the ectopic granule cells after intrahippocampal BDNF infusion in adult rats. *Experimental Neurology.* 2005; 192: 2: 348–356.

15. Ma C.L., Ma X.T., Wang J.J., Liu H., Chen Y.F., Yang Y. Physical exercise induces hippocampal neurogenesis and prevents cognitive decline. *Behav. Brain Res.* 2017; 317: 332–339. DOI: 10.1016/j.bbr.2016.09.067.
16. Schmidt-Kassow M., Zink N., Mock J., Thiel C., Vogt L., Abel C., Kaiser J. Treadmill walking during vocabulary encoding improves verbal long-term memory. *Behav. Brain Funct.* 2014; 10: 24. DOI: 10.1186/1744-9081-10-24.
17. Suwabe K., Hyodo K., Byun K., Ochi G., Yassa M.A., Soya H. Acute moderate exercise improves mnemonic discrimination in young adults. *Hippocampus.* 2017; 27: 229–234. DOI: 10.1002/hipo.22695.
18. Rodriguez-Ayllon M., Cadenas-Sánchez C., Estévez-López F., Muñoz N.E., Mora-Gonzalez J., Migueles J.H., Molina-García P., Henriksson H., Mena-Molina A., Martínez-Vizcaíno V. Role of Physical Activity and Sedentary Behavior in the Mental Health of Preschoolers, Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2019; 49: 1383–1410. DOI: 10.1007/s40279-019-01099-5.
19. Lezi E., Burns J.M., Swerdlow R.H. Effect of high-intensity exercise on aged mouse brain mitochondria, neurogenesis, and inflammation. *Neurobiol. Aging.* 2014; 35: 2574–2583. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2014.05.033.
20. Di Liegro C.M., Schiera G., Proia P., Di Liegro I. Physical Activity and Brain Health. *Genes (Basel).* 2019; 10 (9): 720. DOI: 10.3390/genes10090720. PMID: 31533339; PMCID: PMC6770965.
21. Spilker C., Nullmeier S., Grochowska K.M., Schumacher A., Butnaru I., Macharadze T., Gomes G.M., Yuanxiang P., Bayraktar G., Rodenstein C. A Jacob/Nsmf Gene Knockout Results in Hippocampal Dysplasia and Impaired BDNF Signaling in Dendritogenesis. *PLoS Genet.* 2016; 12: e1005907. DOI: 10.1371/journal.pgen.1005907.
22. Moon H.Y., Becke A., Berron D., Becker B., Sah N., Benoni G., Janke E., Lubejko S.T., Greig N.H., Mattison J.A. Running-Induced Systemic Cathepsin B Secretion Is Associated with Memory Function. *Cell Metab.* 2016; 24: 332–340. DOI: 10.1016/j.cmet.2016.05.025.
23. Hötting K., Röder B. Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2013; 37: 2243–2257. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2013.04.005.
24. Альфонсов В.В., Альфонсова Е.В. Влияние гиподинамии на свертывание крови, фибринолиз и сосудисто-тромбоцитарный гемостаз. *Ученые записки Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета им. Н.Г. Чернышевского.* 2010; 1 (30): 13–19.
25. Aune D., Schlesinger S., Leitzmann M.F., Tonstad S., Norat T., Riboli E., Vatten L.J. Physical activity and the risk of heart failure: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *Eur J Epidemiol.* 2021; 36 (4): 367–381. DOI: 10.1007/s10654-020-00693-6.
26. Мальцева Н.Г., Кузнецова Т.Г. Влияние гипокинезии на структуру миокарда. *Проблемы здоровья и экологии.* 2008; 2 (16): 113–118.
27. Booth F.W., Roberts C.K., Laye M.J. Lack of exercise is a major cause of chronic diseases. *Compr Physiol.* 2012; 2 (2): 1143–1211. DOI: 10.1002/cphy.c110025.
28. Ricci N.A., Cunha A.I.L. Physical Exercise for Frailty and Cardiovascular Diseases. *Adv Exp Med Biol.* 2020; 1216: 115–129. DOI: 10.1007/978-3-030-33330-0_12.
29. Чинкин А.С. Механизмы саморегуляции сократительной функции миокарда при гипокинезии и мышечной тренировке. *Успехи физиологических наук.* 2012; 43 (2): 72–82.
30. Сигалева Е.Э., Мацнев Э.И., Воронков Ю.И., Буйлов С.П., Захарова Л.Н., Кузьмин М.П., Криушев Е.С., Дегтеренкова Н.В., Смирнов О.А., Степанова Г.П. Ретроспективный анализ клинико-физиологической адаптации организма человека к условиям 370-суточной антиортостатической гипокинезии. *Авиакосмическая и экологическая медицина.* 2019; 53 (4): 19–27. DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-4-19-27.
31. Dimitri P., Joshi K., Jones N. Moving Medicine for Children Working Group. Moving more: physical activity and its positive effects on long term conditions in children and young people. *Arch Dis Child.* 2020; 105 (11): 1035–1040. DOI: 10.1136/archdischild-2019-318017.
32. Bakker E.A., Sui X., Brellenthin A.G., Lee D.C. Physical activity and fitness for the prevention of hypertension. *Curr Opin Cardiol.* 2018; 33 (4): 394–401. DOI: 10.1097/HCO.0000000000000526.
33. Boyle L.J., Credeur D.P., Jenkins N.T., Padilla J., Leidy H.J., Thyfault J.P., Fadel P.J. Impact of reduced daily physical activity on conduit artery flow-mediated dilation and circulating endothelial microparticles. *Journal of Applied Physiology.* 2013; 115: 1519–1525.
34. Oral O. Nitric oxide and its role in exercise physiology. *J Sports Med Phys Fitness.* 2021; 61 (9): 1208–1211. DOI: 10.23736/S0022-4707.21.11640-8.

35. Gifford J.R., Richardson R.S. CORP: Ultrasound assessment of vascular function with the passive leg movement technique. *J Appl Physiol*. 2017; 123 (6): 1708–1720. DOI: 10.1152/jappphysiol.00557.2017.
36. Zuccarelli L., Baldassarre G., Magnesa B., Degano C., Comelli M., Gasparini M., Manfredelli G., Marzorati M., Mavelli I., Pilotto A., Porcelli S., Rasica L., Šimunič B., Pišot R., Narici M., Grassi B. Peripheral impairments of oxidative metabolism after a 10-day bed rest are upstream of mitochondrial respiration. *J Physiol*. 2021; 599 (21): 4813–4829. DOI: 10.1113/JP281800.
37. Porcelli S., Rasica L., Zuccarelli L., Magnesa B., Degano C., Comelli M., Grassi B. Effects of 10-day bed rest on nitric oxide metabolites and microvascular function assessed by near-infrared spectroscopy. 67th annual meeting, American College of Sports Medicine. 2020, may 26–30. CA: San Francisco; 2020: 781.
38. Tanaka H. Various Indices of Arterial Stiffness: Are They Closely Related or Distinctly Different? *Pulse (Basel)*. 2018; 5 (1-4): 1–6. DOI: 10.1159/000461594.
39. Bakker E.A., Sui X., Brellenthin A.G., Lee D.C. Physical activity and fitness for the prevention of hypertension. *Curr Opin Cardiol*. 2018; 33 (4): 394–401. DOI: 10.1097/HCO.0000000000000526.
40. Martín-Martín J., Roldán-Jiménez C., De-Torres I., Muro-Culebras A., Escriche-Escuder A., Gonzalez-Sanchez M., Ruiz-Muñoz M., Mayoral-Cleries F., Biró A., Tang W., Nikolova B., Salvatore A., Cuesta-Vargas A.I. Behavior change techniques and the effects associated with digital behavior change interventions in sedentary behavior in the clinical population: a systematic review. *Front Digit Health*. 2021; 3: 620383. DOI: 10.3389/fgth.2021.620383.
41. German C., Makarem N., Fanning J., Redline S., Elfassy T., McClain A., Abdalla M., Aggarwal B., Allen N., Carnethon M. Sleep, Sedentary behavior, physical activity, and cardiovascular health: MESA. *Med Sci Sports Exerc*. 2021; 53 (4): 724–731. DOI: 10.1249/MSS.00000000000002534.
42. Горст В.П., Горст Н.А., Полукова М.В., Багамаева А.Б., Шебеко Л.В., Лобанова М.И. Рассогласование ритмов сердечно-сосудистой и дыхательной систем при максимальных физических нагрузках. *Астраханский медицинский журнал*. 2011; 6 (2): 242–244.
43. Яманова Г.А. Тип регуляции сердечного ритма как критерий адаптации к условиям обучения. Человек. Спорт. Медицина. 2021; 21 (1): 62–70. DOI: 10.14529/hsm210108.
44. Еликов А.В., Цапок П.И. Влияние витаминов-антиоксидантов С и Е на состояние липидного обмена при гиподинамии. *Пермский медицинский журнал*. 2010; 27 (3): 98–103.
45. Еликов А.В. Метаболическая адаптация к двигательной активности различной интенсивности и гиподинамии: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Челябинск; 2015. 33.
46. Маль Г.С., Ястребов В.С., Миронова Д.Ю. Физиологическая реакция агрегации эритроцитов при прекращении длительной гиподинамии. *Тенденции развития науки и образования*. 2019; 47 (5): 57–60. DOI: 10.18411/lj-02-2019-103.
47. Zheng C., Zhang X., Sheridan S., Ho R.S., Sit C.H., Huang Y., Wong S.H. Effect of sedentary behavior interventions on vascular function in adults: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*. 2021; 31 (7): 1395–1410. DOI: 10.1111/sms.13947.
48. Archer E., Lavie C.J., Hill J.O. The contributions of «diet», «genes», and physical activity to the etiology of obesity: Contrary evidence and consilience. *Progress in Cardiovascular Diseases*. 2018; 61 (2): 89–102.
49. Larsen S., Lundby A.M., Dandanell S., Oberholzer L., Keiser S., Andersen A.B., Haider T., Lundby C. Four days of bed rest increases intrinsic mitochondrial respiratory capacity in young healthy males. *Physiol Rep*. 2018; 6 (18): e13793. DOI: 10.14814/phy2.13793.
50. Panahi S., Tremblay A. Sedentariness and Health: Is sedentary behavior more than just physical inactivity? *Front Public Health*. 2018; 6: 258. DOI: 10.3389/fpubh.2018.00258.
51. Raichlen D.A., Pontzer H., Zderic T.W., Harris J.A., Mabulla A.Z.P., Hamilton M.T., Wood B.M. Sitting, squatting, and the evolutionary biology of human inactivity. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2020; 117 (13): 7115–7121. DOI: 10.1073/pnas.1911868117.
52. Dirks M.L., Miotto P.M., Goossens G.H., Senden J.M., Petrick H.L., van Kranenburg J., van Loon L.J.C., Holloway G.P. Short-term bed rest-induced insulin resistance cannot be explained by increased mitochondrial H₂O₂ emission. *J Physiol*. 2020; 598 (1): 123–137. DOI: 10.1113/JP278920.
53. Faienza M.F., Lassandro G., Chiarito M., Valente F., Ciaccia L., Giordano P. How physical activity across the lifespan can reduce the impact of bone ageing: a literature review. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17 (6): 1862. DOI: 10.3390/ijerph17061862.
54. Deogenov V.A., Luzhkov A.G., Kakuris K.K., Federenko Y.F. Muscle calcium metabolic effects of hypokinesia in physically healthy subjects. *Biol Trace Elem Res*. 2010; 138 (1-3): 116–124. DOI: 10.1007/s12011-010-8626-0.

55. Aguado E., Mabillean G., Goyenvalle E., Chappard D. Hypodynamia Alters Bone Quality and Trabecular Microarchitecture. *Calcif Tissue Int.* 2017; 100 (4): 332–340. DOI: 10.1007/s00223-017-0235-x.
56. Aguado E., Pascaretti-Grizon F., Goyenvalle E., Audran M., Chappard D. Bone mass and bone quality are altered by hypoactivity in the chicken. *PLoS One.* 2015; 10 (1): e0116763. DOI: 10.1371/journal.pone.0116763.
57. Narici M., Monti E., Franchi M., Sarto F., Reggiani C., Toniolo L., Pisot R. Biomarkers of muscle atrophy and of neuromuscular maladaptation during 10-day bed rest. *European Journal of Translational Myology.* 2020; 30 (1): 23–24.
58. Kilroe S.P., Fulford J., Jackman S.R., van Loon L.J.C., Wall B.T. Temporal Muscle-specific Disuse Atrophy during One Week of Leg Immobilization. *Medicine and science in sports and exercise.* 2020; 52 (4): 944–954.
59. Narici M., Vito G., Franchi M., Paoli A., Moro T., Marcolin G., Grassi B., Baldassarre G., Zuccarelli L., Biolo G., di Girolamo F.G., Fiotti N., Dela F., Greenhaff P., Maganaris C. Impact of sedentarism due to the COVID-19 home confinement on neuromuscular, cardiovascular and metabolic health: Physiological and pathophysiological implications and recommendations for physical and nutritional countermeasures. *Eur J Sport Sci.* 2021; 21 (4): 614–635. DOI: 10.1080/17461391.2020.1761076.
60. Kramer A. An overview of the beneficial effects of exercise on health and performance. *Adv Exp Med Biol.* 2020; 1228: 3–22. DOI: 10.1007/978-981-15-1792-1_1.

Поступила в редакцию 09.01.2023; принята 08.04.2023.

Автор

Сибирякова Наталья Владимировна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры нормальной физиологии, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России. 414000, Россия, г. Астрахань, ул. Бакинская, 121; e-mail: med.nauka@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8344-6408>.

Образец цитирования

Сибирякова Н.В. Физиологические аспекты рисков, обусловленных низкой физической активностью. Ульяновский медико-биологический журнал. 2023; 2: 132–144. DOI: 10.34014/2227-1848-2023-2-132-144.

PHYSIOLOGICAL RISK FACTORS CAUSED BY LOW PHYSICAL ACTIVITY

N.V. Sibiryakova

Astrakhan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Astrakhan, Russia

The biological need for movement is inherent in all living organisms, including a human being. It determines functionality and performance of the organism. However, a change in the lifestyle of modern people has led to a limitation of their physical activity. In this regard, the younger generation is of particular concern. The May 2017 WHO report, Global Accelerated Action for the Health of Adolescent (AA-HA!): Guidance to Support Country Implementation, noted that “more than 3000 adolescents die every day from largely preventable causes and that many key risk factors for future adult disease start or are consolidated in adolescence.” The low level of physical activity, observed throughout the world, is a risk factor for the development of many functional disorders and diseases.

The physiological mechanisms of physical activity are being thoroughly studied. There are many publications devoted to the impact of physical activity on physiological processes. However, these studies are fragmented due to the constantly changing factors of human life (quarantine measures, distance learning, remote work).

The paper presents a systematic review of publications devoted to the influence of physical activity on the physiological processes of the body. The authors used articles from databases Medline, Scopus, Pubmed, Cochrane, Embase, Web of Science, Google Scholar, eLIBRARY, and Cyberleninka for the review. Such terms as physical activity, low level of physical activity, sedentary lifestyle, hypokinesia, hypodynamia were used for the keyword search.

Key words: hypokinesia, hypodynamia, physical activity, sedentary lifestyle.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

References

1. *Global Accelerated Action for the Health of Adolescents (AA-HA!): Guidance to Support Country Implementation.* WHO / UN / UNICEF / UNAIDS / UNFPA / World Bank World Health Organization. Geneva; 2017. 176.
2. Saunders T.J., Gray C.E., Poitras V.J., Chaput J.P., Janssen I., Katzmarzyk P.T., Olds T., Connor Gorber S., Kho M.E., Sampson M., Tremblay M.S., Carson V. Combinations of physical activity, sedentary behaviour and sleep: relationships with health indicators in school-aged children and youth. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016; 41 (6, Suppl 3): 283–293. DOI: 10.1139/apnm-2015-0626.
3. Boudet G., Chausse P., Thivel D., Rousset S., Mermillod M., Baker J.S., Parreira L.M., Esquirol Y., Duclos M., Dutheil F. How to Measure Sedentary Behavior at Work? *Front Public Health.* 2019; 7: 167. DOI: 10.3389/fpubh.2019.00167.
4. Yamanova G.A., Antonova A.A. Znachimost' faktorov obrazovatel'nogo prostranstva v formirovanii zdorov'ya detey [The importance of educational space factors in the formation of children's health]. *Profilakticheskaya meditsina.* 2022; 25 (2): 113–118. DOI: 0.17116/profmed202225021113 (in Russian).
5. Shabunova A.A., Morev M.V., Kondakova N.A. *Zdorov'e detey: itogi pyatnadsatiletnego monitoringa* [Children's health: Results of 15-year monitoring]. Volgda: ISERT RAN; 2012. 262 (in Russian).
6. Tomarova L.S., Vlasenko S.Yu. Zdorov'e molodezhi v sovremennom mire [Youth health in the modern world]. *OlymPlus (Gumanitarnaya versiya): mezhdunarodnyy nauchno-prakticheskiy zhurnal.* 2022; 1 (14): 76–78 (in Russian).
7. Capodaglio E.M. Attività fisica, strumento di prevenzione e gestione delle malattie croniche. *G Ital Med Lav Ergon.* 2018; 40 (2): 106–119.
8. Grishan M.A. Fiziologicheskie posledstviya gipodinamii dlya organizma cheloveka [Physiological consequences of physical inactivity for the human body]. *Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke.* 2018; 20 (12): 70–73 (in Russian).
9. Kuznetsov O.Yu., Petrova G.S. Fiziologicheskie osnovy stimulyatsii aktivnosti intellektual'noy deyatelnosti studentov sredstvami fizicheskogo vospitaniya [Physiological bases of stimulating students' intellectual activity by means of physical education]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Gumanitarnye nauki.* 2013; 1: 357–362 (in Russian).
10. Lobanov S.A., Emeleva T.F., Danilov A.V., Danilov E.V., Asaeva S.K., Arslanova G.F. Gipodinamiya kak stressovyy faktor [Hypodynamia as a stress factor]. *Meditsinskiy vestnik Bashkortostana.* 2006; 1 (1): 72–74 (in Russian).
11. Solodkov A.S., Sologub E.B. *Fiziologiya cheloveka. Obshchaya. Sportivnaya. Vozrastnaya: uchebnik* [Human physiology. General. Sports. Age: Textbook]. 2-e izd., ispr. i dop. Moscow: Terra-Sport, Olimpiya Press; 2005. 528. ISBN 5-94299-037-9 (in Russian).
12. Sumińska S. Wpływ aktywności fizycznej na sprawność poznawczą. *Medycyna pracy.* 31; 72 (4): 437–450. DOI: 10.13075/mp.5893.01103.
13. Pencea V., Bingaman K.D., Wiegand S.J., Luskin M.B. Infusion of brain-derived neurotrophic factor into the lateral ventricle of the adult rat leads to new neurons in the parenchyma of the striatum, septum, thalamus, and hypothalamus. *J. Neurosci.* 2001; 21 (17): 6706–6717.
14. Scharfman H., Goodman J., Macleod A., Phani S., Antonelli C., Croll S. Increased neurogenesis and the ectopic granule cells after intrahippocampal BDNF infusion in adult rats. *Experimental Neurology.* 2005; 192: 2: 348–356.
15. Ma C.L., Ma X.T., Wang J.J., Liu H., Chen Y.F., Yang Y. Physical exercise induces hippocampal neurogenesis and prevents cognitive decline. *Behav. Brain Res.* 2017; 317: 332–339. DOI: 10.1016/j.bbr.2016.09.067.
16. Schmidt-Kassow M., Zink N., Mock J., Thiel C., Vogt L., Abel C., Kaiser J. Treadmill walking during vocabulary encoding improves verbal long-term memory. *Behav. Brain Funct.* 2014; 10: 24. DOI: 10.1186/1744-9081-10-24.
17. Suwabe K., Hyodo K., Byun K., Ochi G., Yassa M.A., Soya H. Acute moderate exercise improves mnemonic discrimination in young adults. *Hippocampus.* 2017; 27: 229–234. DOI: 10.1002/hipo.22695.

18. Rodriguez-Ayllon M., Cadenas-Sánchez C., Estévez-López F., Muñoz N.E., Mora-Gonzalez J., Migueles J.H., Molina-García P., Henriksson H., Mena-Molina A., Martínez-Vizcaíno V. Role of Physical Activity and Sedentary Behavior in the Mental Health of Preschoolers, Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2019; 49: 1383–1410. DOI: 10.1007/s40279-019-01099-5.
19. Lezi E., Burns J.M., Swerdlow R.H. Effect of high-intensity exercise on aged mouse brain mitochondria, neurogenesis, and inflammation. *Neurobiol. Aging.* 2014; 35: 2574–2583. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2014.05.033.
20. Di Liegro C.M., Schiera G., Proia P., Di Liegro I. Physical Activity and Brain Health. *Genes (Basel).* 2019; 10 (9): 720. DOI: 10.3390/genes10090720. PMID: 31533339; PMCID: PMC6770965.
21. Spilker C., Nullmeier S., Grochowska K.M., Schumacher A., Butnaru I., Macharadze T., Gomes G.M., Yuanxiang P., Bayraktar G., Rodenstein C. A Jacob/Nsmf Gene Knockout Results in Hippocampal Dysplasia and Impaired BDNF Signaling in Dendritogenesis. *PLoS Genet.* 2016; 12: e1005907. DOI: 10.1371/journal.pgen.1005907.
22. Moon H.Y., Becke A., Berron D., Becker B., Sah N., Benoni G., Janke E., Lubejko S.T., Greig N.H., Mattison J.A. Running-Induced Systemic Cathepsin B Secretion Is Associated with Memory Function. *Cell Metab.* 2016; 24: 332–340. DOI: 10.1016/j.cmet.2016.05.025.
23. Hötting K., Röder B. Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2013; 37: 2243–2257. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2013.04.005.
24. Al'fonsov V.V., Al'fonsova E.V. Vliyanie gipodinamii na svertyvanie krovi, fibrinoliz i sosudisto-trombotsitarnyy gemostaz [Influence of physical inactivity on blood coagulation, fibrinolysis and vascular-platelet hemostasis]. *Uchenye zapiski Zabaykal'skogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta im. N.G. Chernyshevskogo.* 2010; 1 (30): 13–19 (in Russian).
25. Aune D., Schlesinger S., Leitzmann M.F., Tonstad S., Norat T., Riboli E., Vatten L.J. Physical activity and the risk of heart failure: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *Eur J Epidemiol.* 2021; 36 (4): 367–381. DOI: 10.1007/s10654-020-00693-6.
26. Mal'tseva N.G., Kuznetsova T.G. Vliyanie gipokinezii na strukturu miokarda [Influence of hypokinesia on the myocardium structure]. *Problemy zdorov'ya i ekologii.* 2008; 2 (16): 113–118 (in Russian).
27. Booth F.W., Roberts C.K., Laye M.J. Lack of exercise is a major cause of chronic diseases. *Compr Physiol.* 2012; 2 (2): 1143–1211. DOI: 10.1002/cphy.c110025.
28. Ricci N.A., Cunha A.I.L. Physical Exercise for Frailty and Cardiovascular Diseases. *Adv Exp Med Biol.* 2020; 1216: 115–129. DOI: 10.1007/978-3-030-33330-0_12.
29. Chinkin A.S. Mekhanizmy samoregulyatsii sokratitel'noy funktsii miokarda pri gipokinezii i myshechnoy trenirovke [Mechanisms of self-regulation of myocardial contractile function during hypokinesia and muscle training]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk.* 2012; 43 (2): 72–82. (in Russian).
30. Sigaleva E.E., Matsnev E.I., Voronkov Yu.I., Buylov S.P., Zakharova L.N., Kuz'min M.P., Kriushev E.S., Degterenkova N.V., Smirnov O.A., Stepanova G.P. Retrospektivnyy analiz kliniko-fiziologicheskoy adaptatsii organizma cheloveka k usloviyam 370-sutochnoy antiortostaticeskoy gipokinezii [Retrospective analysis of clinical and physiological adaptation of human organism to 370-day bed rest]. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina.* 2019; 53 (4): 19–27. DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-4-19-27 (in Russian).
31. Dimitri P., Joshi K., Jones N. Moving Medicine for Children Working Group. Moving more: physical activity and its positive effects on long term conditions in children and young people. *Arch Dis Child.* 2020; 105 (11): 1035–1040. DOI: 10.1136/archdischild-2019-318017.
32. Bakker E.A., Sui X., Brellenthin A.G., Lee D.C. Physical activity and fitness for the prevention of hypertension. *Curr Opin Cardiol.* 2018; 33 (4): 394–401. DOI: 10.1097/HCO.0000000000000526.
33. Boyle L.J., Credeur D.P., Jenkins N.T., Padilla J., Leidy H.J., Thyfault J.P., Fadel P.J. Impact of reduced daily physical activity on conduit artery flow-mediated dilation and circulating endothelial microparticles. *Journal of Applied Physiology.* 2013; 115: 1519–1525.
34. Oral O. Nitric oxide and its role in exercise physiology. *J Sports Med Phys Fitness.* 2021; 61 (9): 1208–1211. DOI: 10.23736/S0022-4707.21.11640-8.
35. Gifford J.R., Richardson R.S. CORP: Ultrasound assessment of vascular function with the passive leg movement technique. *J Appl Physiol.* 2017; 123 (6): 1708–1720. DOI: 10.1152/jappphysiol.00557.2017.

36. Zuccarelli L., Baldassarre G., Magnesa B., Degano C., Comelli M., Gasparini M., Manferdelli G., Marzorati M., Mavelli I., Pilotto A., Porcelli S., Rasica L., Šimunič B., Pišot R., Narici M., Grassi B. Peripheral impairments of oxidative metabolism after a 10-day bed rest are upstream of mitochondrial respiration. *J Physiol*. 2021; 599 (21): 4813–4829. DOI: 10.1113/JP281800.
37. Porcelli S., Rasica L., Zuccarelli L., Magnesa B., Degano C., Comelli M., Grassi B. Effects of 10-day bed rest on nitric oxide metabolites and microvascular function assessed by near-infrared spectroscopy. *67th annual meeting, American College of Sports Medicine*. 2020, may 26–30. CA: San Francisco; 2020: 781.
38. Tanaka H. Various Indices of Arterial Stiffness: Are They Closely Related or Distinctly Different? *Pulse (Basel)*. 2018; 5 (1-4): 1–6. DOI: 10.1159/000461594.
39. Bakker E.A., Sui X., Brellenthin A.G., Lee D.C. Physical activity and fitness for the prevention of hypertension. *Curr Opin Cardiol*. 2018; 33 (4): 394–401. DOI: 10.1097/HCO.0000000000000526.
40. Martín-Martín J., Roldán-Jiménez C., De-Torres I., Muro-Culebras A., Escriche-Escuder A., Gonzalez-Sanchez M., Ruiz-Muñoz M., Mayoral-Cleries F., Biró A., Tang W., Nikolova B., Salvatore A., Cuesta-Vargas A.I. Behavior change techniques and the effects associated with digital behavior change interventions in sedentary behavior in the clinical population: a systematic review. *Front Digit Health*. 2021; 3: 620383. DOI: 10.3389/fgdth.2021.620383.
41. German C., Makarem N., Fanning J., Redline S., Elfassy T., McClain A., Abdalla M., Aggarwal B., Allen N., Carnethon M. Sleep, Sedentary behavior, physical activity, and cardiovascular health: MESA. *Med Sci Sports Exerc*. 2021; 53 (4): 724–731. DOI: 10.1249/MSS.00000000000002534.
42. Gorst V.R., Gorst N.A., Polukova M.V., Bagamaeva A.B., Shebeko L.V., Lobanova M.I. Rassoglasovanie ritmov serdechno-sosudistoy i dykhatel'noy sistem pri maksimal'nykh fizicheskikh nagruzkakh [Mismatch in the rhythms of cardiovascular and respiratory systems at maximum physical exertion]. *Astrakhanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2011; 6 (2): 242–244 (in Russian).
43. Yamanova G.A. Tip regulyatsii serdechnogo ritma kak kriteriy adaptatsii k usloviyam obucheniya [Type of heart rate regulation as a criterion for adaptation to learning conditions]. *Chelovek. Sport. Meditsina*. 2021; 21 (1): 62–70. DOI: 10.14529/hsm210108 (in Russian).
44. Elikov A.V., Tsapok P.I. Vliyanie vitaminov-antioksidantov S i E na sostoyanie lipidnogo obmena pri gipodinamii [Influence of antioxidant vitamins C and E on lipid metabolism in hypodynamia]. *Permskiy meditsinskiy zhurnal*. 2010; 27 (3): 98–103 (in Russian).
45. Elikov A.V. *Metabolicheskaya adaptatsiya k dvigatel'noy aktivnosti razlichnoy intensivnosti i gipodinamii* [Metabolic adaptation to motor activity of varying intensity and physical inactivity]: avtoref. dis. ... d-ra med. nauk. Chelyabinsk; 2015. 33 (in Russian).
46. Mal' G.S., Yastrebov V.S., Mironova D.Yu. Fiziologicheskaya reaktsiya agregatsii eritrotsitov pri prekrashchenii dlitel'noy gipodinamii [Physiological reaction of erythrocyte aggregation upon cessation of prolonged physical inactivity]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2019; 47 (5): 57–60. DOI: 10.18411/lj-02-2019-103 (in Russian).
47. Zheng C., Zhang X., Sheridan S., Ho R.S., Sit C.H., Huang Y., Wong S.H. Effect of sedentary behavior interventions on vascular function in adults: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*. 2021; 31 (7): 1395–1410. DOI: 10.1111/sms.13947.
48. Archer E., Lavie C.J., Hill J.O. The contributions of «diet», «genes», and physical activity to the etiology of obesity: Contrary evidence and consilience. *Progress in Cardiovascular Diseases*. 2018; 61 (2): 89–102.
49. Larsen S., Lundby A.M., Dandanell S., Oberholzer L., Keiser S., Andersen A.B., Haider T., Lundby C. Four days of bed rest increases intrinsic mitochondrial respiratory capacity in young healthy males. *Physiol Rep*. 2018; 6 (18): e13793. DOI: 10.14814/phy2.13793.
50. Panahi S., Tremblay A. Sedentariness and Health: Is sedentary behavior more than just physical inactivity? *Front Public Health*. 2018; 6: 258. DOI: 10.3389/fpubh.2018.00258.
51. Raichlen D.A., Pontzer H., Zderic T.W., Harris J.A., Mabulla A.Z.P., Hamilton M.T., Wood B.M. Sitting, squatting, and the evolutionary biology of human inactivity. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2020; 117 (13): 7115–7121. DOI: 10.1073/pnas.1911868117.
52. Dirks M.L., Miotto P.M., Goossens G.H., Senden J.M., Petrick H.L., van Kranenburg J., van Loon L.J.C., Holloway G.P. Short-term bed rest-induced insulin resistance cannot be explained by increased mitochondrial H₂O₂ emission. *J Physiol*. 2020; 598 (1): 123–137. DOI: 10.1113/JP278920.
53. Faienza M.F., Lassandro G., Chiarito M., Valente F., Ciaccia L., Giordano P. How physical activity across the lifespan can reduce the impact of bone ageing: a literature review. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17 (6): 1862. DOI: 10.3390/ijerph17061862.

54. Deogenov V.A., Luzhkov A.G., Kakuris K.K., Federenko Y.F. Muscle calcium metabolic effects of hypokinesia in physically healthy subjects. *Biol Trace Elem Res.* 2010; 138 (1-3): 116–124. DOI: 10.1007/s12011-010-8626-0.
55. Aguado E., Mabillean G., Goyenvalle E., Chappard D. Hypodynamia Alters Bone Quality and Trabecular Microarchitecture. *Calcif Tissue Int.* 2017; 100 (4): 332–340. DOI: 10.1007/s00223-017-0235-x.
56. Aguado E., Pascaretti-Grizon F., Goyenvalle E., Audran M., Chappard D. Bone mass and bone quality are altered by hypoactivity in the chicken. *PLoS One.* 2015; 10 (1): e0116763. DOI: 10.1371/journal.pone.0116763.
57. Narici M., Monti E., Franchi M., Sarto F., Reggiani C., Toniolo L., Pisot R. Biomarkers of muscle atrophy and of neuromuscular maladaptation during 10-day bed rest. *European Journal of Translational Myology.* 2020; 30 (1): 23–24.
58. Kilroe S.P., Fulford J., Jackman S.R., van Loon L.J.C., Wall B.T. Temporal Muscle-specific Disuse Atrophy during One Week of Leg Immobilization. *Medicine and science in sports and exercise.* 2020; 52 (4): 944–954.
59. Narici M., Vito G., Franchi M., Paoli A., Moro T., Marcolin G., Grassi B., Baldassarre G., Zuccarelli L., Biolo G., di Girolamo F.G., Fiotti N., Dela F., Greenhaff P., Maganaris C. Impact of sedentarism due to the COVID-19 home confinement on neuromuscular, cardiovascular and metabolic health: Physiological and pathophysiological implications and recommendations for physical and nutritional countermeasures. *Eur J Sport Sci.* 2021; 21 (4): 614–635. DOI: 10.1080/17461391.2020.1761076.
60. Kramer A. An overview of the beneficial effects of exercise on health and performance. *Adv Exp Med Biol.* 2020; 1228: 3–22. DOI: 10.1007/978-981-15-1792-1_1.

Received January 9, 2023; accepted April 8, 2023.

Information about the author

Sibiryakova Natal'ya Vladimirovna, Candidate of Sciences (Medicine), Associate Professor, Chair of Normal Physiology, Astrakhan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation. 414000, Russia, Astrakhan, Bakinskaya St., 121; e-mail: med.nauka@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8344-6408>.

For citation

Sibiryakova N.V. Fiziologicheskie aspekty riskov, obuslovlennykh nizkoy fizicheskoy aktivnost'yu [Physiological risk factors caused by low physical activity]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskiy zhurnal.* 2023; 2: 132–144. DOI: 10.34014/2227-1848-2023-2-132-144 (in Russian).