

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ РИТМА СЕРДЦА И ЕЕ ПЕРСПЕКТИВЫ В ПРАКТИКЕ АНТРОПОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (ОБЗОР)

Вариабельность ритма сердца (ВРС) представляет собой флуктуации временного интервала между последовательными сердечными сокращениями. Физиологические исследования ВРС рассматривают показатели ВРС как надежную и объективную характеристику тонуса вегетативной нервной системы (симпатического и парасимпатического отделов), отражающего в свою очередь динамику психоэмоционального состояния и любого стрессового состояния, уровня тревожности, нарушение когнитивных функций (внимание, мотивация). Одновременно ВРС является одним из наиболее многообещающих количественных показателей вегетативной активности, для автоматического определения которого в настоящее время существует набор простых устройств и методик. В обзоре кратко рассматриваются методические аспекты определения ВРС, степень генетической обусловленности показателя, половозрастные аспекты изменчивости, истоки метода и его роль в космической и клинической медицине, спортивной практике, экологических исследованиях, немногочисленных популяционных исследованиях, междисциплинарные аспекты изучения, перспективы использования показателя в антропологической практике.

Ключевые слова: антропология; физиология; методические аспекты анализа ритма сердца; генетическая обусловленность ВРС; возрастно-половая изменчивость; этническая специфика; реакция на экзогенный стресс

Введение

Одним из наиболее востребованных теоретических и прикладных направлений антропологии на протяжении десятилетий является системная оценка конституционального статуса организма как фундаментальной устойчивой биологической характеристики и алгоритма адаптации к среде, в частности, к антропогенным нагрузкам высокого уровня в современной урбанизированной среде. Формирование представлений о характере и тесноте межсистемных связей больших наборов соматических, психологических, физиологических параметров, и степени их автономности, в рамках изучения конституциональной целостности организма является задачей, фактически не имеющей окончательного и однозначного решения. Тем не менее, включение в комплексный анализ конституционального статуса параметров, являющихся по сути эндофенотипами или генетическими маркерами тех или иных свойств (например, параметры альфа-ритма ЭЭГ покоя как эндофенотип поведенческих характеристик), позволяет минимизировать число исходных переменных при описании интегративных аспектов конституции.

Показатель variability ритма сердца (ВРС) является одним из таких эндофенотипов, представляя перспективный маркер, активно применяющийся как в чисто физиологических, так и в различных междисциплинарных областях знаний.

Методические аспекты

Показатель variability ритма сердца ВРС представляет собой флуктуации временного интервала между последовательными сердечными сокращениями. Физиологические исследования variability ритма сердца рассматривают показатели ВРС как надежную и объективную характеристику тонуса вегетативной нервной системы (симпатического и парасимпатического отделов), отражающего в свою очередь динамику психоэмоционального состояния и любого стрессового состояния, уровня тревожности, нарушение когнитивных функций (внимание, мотивация). Одновременно ВРС является одним из наиболее многообещающих количественных показателей вегетативной активности, для автоматического

определения которого в настоящее время существует набор простых устройств и методик. Выделяют целый ряд показателей ВРС, надежность определения которых зависит от продолжительности записи, которая может колебаться от 2 минут (в некоторых случаях даже 1 минуты) до 24 часов [Алейникова, 2012; Shaffer, Ginsberg, 2017]. Различают два подхода к анализу вариабельности ритма сердца: временной и частотный методы анализа. Длительные 24-часовые записи позволяют вычислить показатели ВРС во временной области, в частности, ЧСС ($=HR$), RR (средняя длительность RR-интервала, мс), SDNN (стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов, мс; показатель описывает суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения), RMSSD (квадратный корень суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов, мс; индикатор активности парасимпатического звена вегетативной регуляции) и т.д. [Ковалева с соавт., 2013]. По коротким записям оценивают показатели ВРС в частотной области: общую мощность спектра TP (mc^2), мощность высокочастотного компонента HF (mc^2) как маркер парасимпатических влияний, мощность низкочастотного компонента LF (mc^2) как маркер симпатических влияний, мощность очень низкочастотного компонента VLF (mc^2), соотношение низко- и высокочастотных волн LF/HF как маркер вегетативного баланса [Дадашова, 2015]. До настоящего времени ведется дискуссия о минимальной достаточной продолжительности записи для корректной оценки тех или иных параметров. Данные суточного наблюдения позволяют более глубоко оценить состояние механизмов нейроэндокринной регуляции кровообращения [Рябыкина, Соболев, 1998; Макаров, 2000]. Однако, 24-часовые исследования значительно более трудоемки и дороги, а анализ суточных записей ВРС еще недостаточно разработан. Преимуществом коротких записей является более широкий диапазон использования метода, простота аппаратного и программного обеспечения, возможность оперативного получения результатов [Баевский с соавт., 2001]. Кроме того, последние разработки в данной области открывают возможность оценки по коротким записям таких параметров, расчет которых ранее мог быть реализован лишь при длительной регистрации ЭКГ. Так, в работе Муньос с соавторами исследователи приходят к выводу, что для корректного расчета показателей RMSSD и SDNN во временной области нет необходимости использовать запись длиннее 120 с; для вычисления последнего показателя авторы рекомендуют брать запись не короче 30 с [Munoz et al., 2015]. В работе бразильских физиологов показано, что использование коротких записей для получения

референсных значений ВРС в состоянии покоя в случае массовых обследований здоровых испытуемых в возрасте 35-74 лет, не принимающих лекарственные препараты, является ценным инструментом для исследователей и клиницистов [Dantas et al., 2018]. В собственных исследованиях авторов (материалы пока не опубликованы) регистрация ЭКГ осуществлялась от правого и левого запястья, синхронно с ЭЭГ (по отдельному полиграфическому каналу энцефалографа) в течение 2 минут. В целом, измерительные стандарты и нормы ВРС составляют обширную тему для обсуждения, зависят от конкретных задач исследования, и не рассматриваются подробно в настоящем обзоре, представляя не общий теоретический, а конкретно практический интерес. Международные стандарты оценки вариабельности ритма сердца суммированы в классическом руководстве «Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task force European society of cardiology and North American society of pacing and electrophysiology» [Heart rate..., 1996].

Наследуемость ВРС

Важными вопросами являются внутрииндивидуальная изменчивость и генетическая обусловленность ВРС. При исследовании пациентов с мерцательной аритмией проводилась 30-минутная запись ЭКГ, разбитая затем на 6 5-минутных интервалов, по которым осуществлялось сопоставление параметров ВРС, в результате классифицированных по степени временной устойчивости с разбиением на 3 класса. Показателем временной устойчивости служил коэффициент вариации (C). К первому классу (высокая степень устойчивости, C до 0,1) были отнесены в числе прочего mRR, sdRR, ко второму (C = 0,1-0,2) – VLF, HF, к третьему (C более 0,3) – LF [Мартимьянова, Макиенко, 2000]. Исследований подобного рода на здоровых испытуемых оказалось не так много [Белоглазова, 2014]. При изучении наследственной обусловленности показателей ВРС на 282 парах монозиготных и 229 парах дизиготных близнецов в молодом возрасте (средний возраст 20 лет) было показано, что генетические факторы определяют от 50 до 60% их изменчивости. Показатели наследуемости оказались одинаковыми для параметров ВРС временного и частотного доменов, а также для нелинейных динамических оценок. Для большинства параметров не было обнаружено различий в степени наследуемости в зависимости от половой принадлежности, за исключением RMSSD (большая генетическая обусловленность у мужского пола) и

LF/HF (показаны различные генетические факторы, определяющие наследуемость у мужчин и женщин). Результаты обнаруживают высокую генетическую корреляцию между показателями ВРС из разных доменов, демонстрирующую, что свыше 90% генетических факторов являются общими для данных параметров. Показано также наличие независимых генов, определяющих параметры ВРС и не связанных при этом с наследуемостью значений пульса [Golosheykin et al., 2017]. Изучение влияния генетических факторов на уровень пульса и ВРС в зависимости от состояния испытуемых – покой или стресс – было проведено с использованием данных посемейного исследования в Омане. Выявлено, что большинство генетических факторов, определяющих ВРС в состоянии покоя, также определяют его параметры и при стрессе, однако есть уникальные гены, влияние которых проявляется при смене состояний – так, оценки наследуемости для SDNN и RMSSD оказались выше при психологическом стрессе, чем в состояниях покоя и при физическом стрессе, для последних двух кондиций оценки были близки [Mucosoz et al., 2018]. Сходные результаты получены при сравнении выборок белых американцев и афроамериканцев: вне зависимости от этнической и половой принадлежности, регуляция variability ритма сердца в состоянии покоя и под влиянием стресса определяется одними и теми же генами с небольшим, но достоверным вкладом стресс-специфических генетических эффектов [Wang et al., 2009]. При изучении генетической основы ВРС в испанской и латиноамериканской выборках был выявлен полиморфизм по двум генам, ответственным за RMSSD (хромосома 12) и SDNN (хромосома 19) для когорты испытуемых европейского происхождения [Kerr et al., 2017]. В современной литературе обсуждаются альтернативные представления о соотносительном вкладе генетики и среды в изменчивость параметров ВРС, в частности, можно найти ссылки на устойчивую, но умеренную степень наследственной обусловленности параметров ВРС на фоне значительных корректив показателей со стороны экологических факторов [Bourdon et al., 2018], что уже упоминалось выше. Одновременно встречаются утверждения, что генетические факторы ответственны за большую часть межиндивидуальных различий ВРС вне зависимости от состояния здоровья; особенности поведения и профессиональные нагрузки в то же время незначительно сказываются на изменчивости ВРС [Uusitalo et al., 2007]. Такие полярные взгляды не позволяют считать вопрос о генетико-экологической обусловленности параметров ВРС окончательно решенным, видимо, для этого требуется более тщательный выбор условий

эксперимента, учет социо-этнической специфики, в частности, поведенческих механизмов, определяющих особенности сердечно-сосудистой системы, и подбор наиболее информативных параметров ССС [Snieder et al., 2007; Hill et al., 2015].

Половозрастные различия

ВРС имеет возрастную динамику и половую специфику. По мнению Уметани с коллегами, до 30 лет ВРС ниже у женщин, гендерные различия исчезают после 50 лет [Umetani et al., 1998]. Разброс показателей ВРС выше всего для молодых людей (25-34 года), с возрастом размах изменчивости параметров ВРС остается константой [Voss et al., 2012]. В исследовании, проведенном с участием практически здоровых лиц (118 женщин и 275 мужчин, половая принадлежность испытуемых при анализе не учитывалась), разделенных на три возрастные группы (18-35 лет, 35-48 лет и старше 48 лет), не имеющих манифестной сердечно-сосудистой патологии, по мере увеличения возраста было показано последовательное снижение временных и частотных показателей ВРС. При этом временные и частотные показатели ВРС (за исключением низкочастотной составляющей ВРС, выраженной в нормализованных единицах) у испытуемых во всех трех возрастных диапазонах оказались достоверно выше в ночное время; в большей степени изменения касались показателей, характеризующих парасимпатическое звено вегетативной нервной системы [Бойцов с соавт., 2002]. Сходные изменения ВРС с возрастом показаны и в других работах [Дадашова, 2015; Moodithaya, Avadhany, 2012; Spina et al., 2019]. В работе Исежер с соавторами для обоих полов с возрастом отмечается снижение мощностей LF и HF, сопровождающееся увеличением соотношения LF/HF, т.е. компонент HF снижается, видимо, более интенсивно [Iseger et al., 2019]. Очень низкая variability сердечного ритма отмечена для старшей возрастной группы хантов, что, по мнению авторов, является маркером долгожительства [Filatova et al., 2016]. На практически здоровых испытуемых Дадашовой [Дадашова, 2015] было показано, что у мужчин активность симпатической нервной системы выше, чем у женщин, а женщины сопоставимого возраста имеют более выраженные вагусные влияния на сердце. У женщин также выявлено увеличение показателя VLF%, отражающего нейрогуморальную и метаболическую активацию. Аналогично, мета-анализ, базирующийся на 2020 литературных источниках, позволивший проанализировать в совокупности

50 различных оценок ВРС у 296 247 участников, показал, что для женщин характерна значительно более низкая суммарная мощность спектральной плотности ВРС, при этом мощность высокочастотного компонента (HF) была выше, а низкочастотного (LF) – ниже, и как следствие – ниже соотношение LF/HF. У женщин также оказались меньшие средние значения RR-интервалов и SDNN. Отмечено значительное влияние на результат возраста, контроля дыхания и продолжительности записи, доступной для анализа. Причины сочетания у женщин более высокой средней частоты сердечбиений и более выраженной вагусной активности, оцениваемой показателем HF, обсуждаются [Koenig, Thayer, 2016]. Сходные данные получены Спина с соавторами – у женщин более выражен вагусный тонус, тогда как у мужчин выше вклад симпатических влияний [Spina et al., 2019]. По данным другого исследования, соотношение LF/HF оказалось ниже у женщин, а пульс – у мужчин [Iseger et al., 2019]. На выборке юношей и девушек была показана зависимость ВРС от средней частоты ритма – с увеличением последней вариабельность сердечного ритма снижалась, причем у юношей более значительно, чем у девушек (увеличение средней частоты сердечного ритма на 10 кардиоциклов в минуту уменьшало вариабельность сердечного ритма у юношей на 25,6 мс, а у девушек только на 14,9 мс). Сделано предположение, что причина этих различий – разный гормональный фон в исследуемых группах [Бондаренко с соавт., 2018]. Исследование влияния на ВРС условий высокогорья в зависимости от пола испытуемых было проведено с участием 63 здоровых индивидов в возрасте 18-56 лет. Показатели ВРС были измерены на высоте уровня моря, 3619 м, 4600 м и 5140 м. Наиболее устойчивыми эффектами оказались снижение пульса, показателей SDNN, RMSSD, NN50, pNN50, VLF, LF, HF, TP при продвижении от отметки 3619 м к 5140 м. При этом у мужчин пульс оказался значительно ниже, а такие показатели, как SDNN, RMSSD, мощность LF, мощность HF, TP – выше, чем у женщин в условиях высокогорной местности [Boos et al., 2017]. Динамика ВРС и формирование полового диморфизма по данному показателю в детском возрасте требует отдельного рассмотрения и не может быть подробно описана в рамках данного обзора. Тем не менее, следует упомянуть некоторые работы. Есть данные о том, что параметры ВРС у здоровых новорожденных в первые дни жизни характеризуются высоким уровнем симпатической активности [Makarov et al., 2009]. На первом году жизни наблюдается стабильное увеличение показателя, характеризующего основной уровень функционирования синусового узла, а также параметра

SDNN, что отражает постепенное повышение вагусных влияний на ритм, которые проявляются нарастанием синусовой аритмии. В то же время значения показателей RMSSD и pNN50, ответственных за парасимпатический контроль, изменяются неоднозначно: они статистически достоверно повышаются в возрасте 2-4 месяцев по сравнению со значениями 1 месяца, а в дальнейшем снижаются до уровня этих значений. На основании полученных данных можно утверждать, что в 2-4 месяца у здоровых детей имеет место транзитное понижение симпатических или, возможно, повышение парасимпатических влияний на ритм. Эти изменения, возможно, предрасполагают к возникновению различных нарушений ритма, максимальная представленность которых выявлена именно в возрасте 2-4 месяцев [Кравцова с соавт., 2000]. Исследование 5400 школьников 6-16 лет выявило целый ряд закономерностей динамики параметров ВРС, в частности, продемонстрирована волнообразная изменчивость с возрастом показателей SDNN (максимальные значения принимал в 9, 13 и 14 лет), RMSSD и LF (максимум в 9 и 13 лет), HF (максимум в 9-11 и 13-14 лет). В целом на данном возрастном интервале показано постепенное урежение пульса, возрастание вариабельности и общей мощности спектра. Половые различия в продолжительности NN-интервалов обнаруживаются с 9 лет, по другим показателям ВРС – с 11-13 лет [Галеев с соавт., 2002]. Согласно некоторым исследованиям, у детей от 1 до 7 лет происходит постепенное нарастание парасимпатических влияний на сердечный ритм [Struchkova et al., 2016], повышенный тонус парасимпатического отдела ВНС сохраняется по разным данным до 9 лет [Коркушко с соавт., 1991], в 11-13 лет [Соболева с соавт., 1984]; по данным Догадкиной – по крайней мере с 8 и до 10 у девочек, до 11 у мальчиков [Догадкина, 2011, 2015], после чего начавшееся половое созревание вносит изменения в процесс автономной нервной регуляции сердечного ритма [Догадкина, 2015]. Исследование особенностей суточной динамики ВРС у детей 12-17 лет показало, что относительная мощность волн высокой частоты достоверно увеличивается в ночное время только у девочек, в то время как у мальчиков значимо не изменяется. У детей обоего пола в ночное время наблюдалось также достоверное снижение относительной мощности волн низкой частоты. У девочек зарегистрирован больший вклад парасимпатического отдела вегетативной нервной системы в модуляцию сердечного ритма по сравнению с мальчиками. Высказывается предположение об относительной стабилизации в системе регуляции сердечного ритма на возрастном интервале 14-15 – 16-17 лет у девочек [Шевелева, 2019].

Сходные результаты, свидетельствующие о стабилизации регуляции ВРС у детей к 15 годам в связи с отсутствием различий в величине компонентов ВРС у 15- и 16-летних, а также отсутствием в этом возрасте половых различий, показаны в работе Галеева [Галеев с соавт., 2002].

Истоки метода. Космическая и клиническая медицина

Первоначально метод анализа ВРС, одним из разработчиков которого являлся Р.М. Баевский, нашел применение в области космической медицины, в которой он продолжает активно развиваться уже более 50 лет. Известно, что космические полеты чреватые существенными рисками для человеческого организма, включая кардинальные изменения работы сердечно-сосудистой системы и атрофию мышечной и костной ткани – процессы, напрямую связанные с условиями микрогравитации [Otsuka et al., 2019]. Анализ вариабельности ритма сердца широко применяется в научных исследованиях членов космических экипажей, совершающих длительные многомесячные полеты, существенно дополняя традиционную клиническую интерпретацию электрокардиограммы и позволяя прогнозировать клинически значимые изменения в работе сердечно-сосудистой и других систем организма. Кроме решения чисто клинических задач, подобный анализ применяется для изучения процессов адаптации организма к необычным условиям длительного космического полета [Баевский, Никулина, 2000; Bayevsky et al., 2016]. Исследования во время сна на борту МКС, в которых за 4 года (начиная с 2007) приняли участие 16 космонавтов, показали, в числе прочего, наличие противофазной динамики HF и LF в ходе длительного космического полета (6 месяцев), отражающей постепенное смещение вегетативного баланса в сторону увеличения активности симпатического звена регуляции. Показано также, что сон, качество которого оценивалось по различным значениям показателей ВРС, в условиях длительной невесомости не всегда обеспечивает достаточное восстановление функциональных резервов организма – среднеполетное качество сна было в пределах 50-80% [Баевский с соавт., 2012]. Исследования Оцуки с коллегами [Otsuka et al., 2009, Otsuka et al., 2016] показали, что во время длительного полета у астронавтов меняется временная структура параметров ВРС. В более позднем исследовании тех же авторов на 7 астронавтах МКС показаны изменения параметров вариабельности сердечного ритма, сопряженные, по

мнению авторов, с антивозрастным эффектом космической среды [Otsuka et al., 2019].

Донозологическая диагностика и вероятностный подход к оценке риска развития патологических отклонений на основе анализа ВРС, разработанные в космической медицине, завоевывают все больше последователей в практической медицине и в прикладной физиологии. Эта методика сегодня является одной из самых популярных в функциональной диагностике и ее доступность и распространенность с каждым годом растет в связи с успехами микроэлектроники и, в частности, благодаря массовому выпуску смартфонов и планшетов. В перспективе можно ожидать, что анализ ВРС станет неотъемлемой частью персональных, повседневных приборов для оценки и контроля индивидуального здоровья [Bayevsky, 2016]. Уже сейчас ВРС используется как маркер сердечно-сосудистых заболеваний; в оценке эффективности коррекции вызванных стрессом нарушений ССС; при подборе оптимальных доз препаратов и контроля проводимой терапии [Gavrilova, 2016]. Низкая вариабельность сердечного ритма прочно ассоциируется с повышенным риском внезапной смерти от остановки сердца [Huikuri et al., 2000; La Rovere et al., 2003; Maheshwari et al., 2016]; значительные изменения в ВРС регистрируются также при гипертонии, аритмии, гипертрофии левого желудочка и т.д. [Бондаренко с соавт., 2018; Ashtiyani et al., 2018]. Показатели ВРС используются как информативные маркеры течения послеоперационной фазы в кардиохирургии, в частности, после трансплантации [Nenna et al., 2017; Takakura et al., 2017].

Клинические исследования в области акушерства и неонатологии показали наличие ряда отклонений параметров ВРС у детей со ЗВУР, в частности, для них были характерны более низкие симпато-парасимпатические влияния на сердечный ритм в период с 5 дней до 1 мес. жизни [Bliznetsova et al., 2016]. ВРС-параметры используются для прогнозирования развития дистресса плода [Warmerdam et al., 2018]; недоношенные новорожденные характеризуются сниженной ВРС, также низкая вариабельность сердечного ритма отмечается при различных патологических состояниях новорожденных [Javorka et al., 2017].

Твердо установлены закономерные изменения ВРС при таких заболеваниях, как полиневропатия, синкопальные состояния, депрессия пожилого возраста [например, Котельников с соавт., 2002; An et al., 2020]. По результатам исследования, проведенного на 550 испытуемых пожилого возраста (средний возраст больше 60 лет), страдающих депрессией (группа 1), при сравнении с группой контроля (группа 2) было выявлено, что у людей в первой группе ВРС снижена по сравнению со второй

[Brown et al., 2018]. Аналогичные результаты получены в исследовании на испытуемых в возрасте от 10 до 24 лет с диагнозами «депрессия» и «тревожность» [Panissia et al., 2017]. Редукция ВРС сопряжена с изменениями в функционировании вегетативной нервной системы. Низкая ВРС характерна при нарушении эмоциональной регуляции, сниженной психологической гибкости и социальной активности, что в свою очередь связано с гипофункцией префронтальной коры. Высказывается предположение, что ВРС может выступать как эндотип для психических и физических коморбидностей, и использоваться для предсказания эффективности терапии различных психосоматических и психиатрических заболеваний [Sgoifo et al., 2015; Golosheykin et al., 2017; Harrewijn et al., 2018]. В обзорной статье Джунг с соавторами [Jung et al., 2019] приводится целый ряд работ, свидетельствующих, что сниженная ВРС является одной из главных манифестаций при депрессивных расстройствах, шизофрении, посттравматическом синдроме; при более широком рассмотрении вариабельность ритма сердца оказывается тесно связана с вариабельностью ЭЭГ и индивидуальными различиями в когнитивных функциях. Так, женщины с депрессивными расстройствами одновременно демонстрировали более низкую альфа-ЭЭГ активность в левом полушарии, сниженную мощность HF-компонента ВРС и более высокое соотношение LF/HF по сравнению с контролем [Chang et al., 2012]; пережившие в детстве психологическую травму взрослые характеризуются повышенной мощностью бета-ритма и сниженной мощностью LF [Jin et al., 2018]; индивиды с низкой ВРС оказались более восприимчивы к увеличению когнитивной рабочей нагрузки [Hansen et al., 2003; Johnsen et al., 2003]. Мысль о наличии глубокой связи между мозгом и сердцем была озвучена Клодом Бернаром более 150 лет назад. В работе Тайера с соавторами предпринята попытка развить идею этого ученого, используя нейровисцеральную интегративную модель. Был проведен мета-анализ недавних работ с использованием нейровизуализации, направленных на изучение взаимосвязей между показателями ВРС и регионального мозгового кровотока. Авторы выделили ряд зон, включая миндалину и вентромедиальную префронтальную кору, для которых исследования показали наличие таких ассоциаций. Показано, что ВРС может выступать индексом, маркером качества взаимоотношений между ЦНС и периферией, и играть роль индикатора адекватности реагирования организма на те или иные стимулы. В частности, известен феномен реагирования на любой неизвестный стимул как на угрозу, имевший приспособительное значение на заре человечества,

и перерождающийся в различные патологические состояния (повышенная тревожность, неврозы) в современном цивилизованном мире, где нет места для непосредственной реакции борьба/бегство. В процессе распознавания потенциальной угрозы ключевую роль играет миндалина, и в случае отсутствия опасности вентромедиальная префронтальная кора выступает ее ингибитором. ВРС, будучи тесно связана с этими структурами, может исполнять роль «уполномоченного» по вертикальной интеграции мозговых механизмов, осуществляющего гибкий контроль над поведением посредством периферических физиологических реакций, и приближающего к пониманию проблем стресса и здоровья [Thayer, Lane, 2012].

ВРС в спортивной практике

Широкое применение ВРС получил в качестве маркера адаптации при спортивных нагрузках [Buchheit, 2015; Bersenev, 2016; Brook et al., 2016; Dobrovolsky, Galushchenko, 2016; Kuznetsova, Melnikova, 2016; Levushkin et al., 2016, Tuzlukova, 2016; Hernando et al., 2016; Pseunok, 2016a, 2016b; Prusov, Iusov, 2016; Shlyk, 2016; Coelho et al., 2019], в частности, параметры вариабельности ритма сердца отражают более низкий тонус симпатического отдела ВНС и меньшее напряжение ресурсов организма при нагрузке у спортсменов международного класса сравнительно с менее квалифицированными спортсменами. В работе Берсенева [Bersenev, 2016] на волейболистах показано, что для испытуемых в среднем свойственен высокий тонус парасимпатического отдела ВНС, что характеризуется преобладанием низких значений ЧСС, присутствием в спектре ВРС в основном высокочастотных колебаний. Одновременно, приблизительно у четверти обследованных спортсменов было отмечено преобладание медленных колебаний кардиоритма (LF); у данных спортсменов высокочастотный (дыхательный) спектр был смещен в сторону медленных волн. В.М. Хаютин [Хаютин, Лукошкова, 2002] приводит данные о том, что у спортсменов в несколько раз выше мощность и высоко- и низкочастотных спектральных компонентов по сравнению с людьми, не занимающимися регулярно спортом. При этом известно, что частота дыхания у спортсменов устойчиво снижена [Гандельсман, Васильева, 1969], что может приводить к смещению части мощности HF в полосу низкочастотных колебаний (ниже 0,15 Гц). В то же время, увеличение мощности спектра LF отражает повышение чувствительности спонтанного барорефлекса, что должно отражаться в показателях вариабельности

артериального давления [Bersenev, 2016]. По мнению Савенковой с коллегами, замедление частоты пульса и дыхания в покое у тренированных лыжников способствует повышению CO_2 в крови, провоцируя, таким образом, синхронизацию импульсов дыхательного и кардиоингибиторного нервных центров ствола мозга [Савенкова с соавт., 2006]. Возможно, у высокотренированных спортсменов, в особенности таких игровых видов спорта как волейбол, в условиях покоя сцепленный ритм дыхания и сердцебиения отражает высокий уровень функциональных резервов кардиореспираторной системы, способность организма задействовать более широкий диапазон регуляции дыхания, сердцебиения и гемодинамики [Bersenev, 2016]. В другом исследовании при изучении вариабельности ритма сердца с использованием метода спектрального анализа у спортсменов высокой квалификации выявлено, что значения показателей ВРС зависят от направления тренировочного процесса, например, у спортсменов, развивающих силовые качества, показатели TP, VLF, LF, HF, LF/HF соответствуют показателям здоровых нетренированных людей; у спортсменов, развивающих скоростно-силовые качества и выносливость, показатели общей мощности спектра значительно превышают показатели нормы за счет HF-компоненты, что связано, вероятно, с большим объемом динамических нагрузок; у спортсменов, развивающих скоростно-силовые качества, показатели TP и VLF достоверно выше по сравнению с данными спортсменов, развивающих силу и выносливость и т.д. [Кудря, 2009]. Для футболистов показана зависимость ВРС от игрового амплуа: фоновые показатели RMSSD и LF достоверно выше у защитников, HF – у нападающих, LF/HF – у полузащитников; также показана различная реакция на физическую нагрузку в зависимости от уровня активности регуляторных систем: у защитников синхронно усиливается активность автономного и центрального контуров управления, что отражается в высоких показателях симпатического и парасимпатического звеньев ВНС, у полузащитников и нападающих активность автономной регуляции снижается на фоне роста высших уровней управления сердечным ритмом [Brook et al., 2016]. Для атлетов, специализирующихся на дзюдо, показана связь ВРС с уровнем квалификации – для спортсменов международного класса все рассмотренные показатели вариабельности ритма сердца оказались выше по сравнению со значениями у атлетов национального уровня; у первых также оказался ниже предсоревновательный уровень тревожности [Morales et al., 2013].

Вопрос о степени влияния на параметры ВРС физической активности за рамками профессио-

нального спорта был рассмотрен Спина с соавторами в исследовании на 485 испытуемых, разбитых на 3 возрастные группы (18-39, 40-59 и старше 60 лет). Было показано, что физические упражнения оказывают достоверный, но нестойкий эффект на параметры вариабельности ритма сердца, и такие факторы, как пол и возраст, оказывали более значимое влияние на рассматриваемые показатели [Spina et al., 2019]. Решающая роль возраста для эффективности тренировок показана в работе Кальцату [Kaltsatou et al., 2020]. Показана разная реакция на физическую нагрузку студентов в зависимости от степени физической активности [Bashkatova et al., 2016].

Популяционная изменчивость. Влияние природных и антропогенных факторов

Антрополога более всего интересуют некоторые стандартные популяционные характеристики показателей ВРС, различающиеся при переходе от одной территориальной группы к другой. В исследовании влияния различных факторов риска в городской среде в качестве основных показателей степени неблагоприятности воздействия были выбраны субъективный фактор дискомфорта и объективный фактор вариабельности ритма сердца. Показано, что в наибольшей степени они реагируют на социальный стресс и уровень шума [Schnell et al., 2016]. В сходном исследовании с участием тех же авторов отмечается, что если уровень шума и субъективно оцениваемый социальный стресс повышают уровень ВРС, то небольшие дозы CO в атмосфере сглаживают этот эффект, приводя к понижению ВРС [Schnell et al., 2013]. Повышенный уровень в атмосфере сульфатов и озона сопряжен со сниженным уровнем вариабельности сердечного ритма, и с повышенным – для ряда биохимических показателей, в том числе для высокочувствительного С-реактивного белка, фибриногена и т.д. [Chuang et al., 2007]. В районах с повышенным уровнем радиационной нагрузки у детей обоего пола с возрастом отмечается рост напряженности регуляторных систем и гомеостатических показателей ССС. Фиксируется повышенная активность стволовых структур мозга, что, предположительно, «охраняет» более молодые корково-подкорковые структуры, не достигшие дефинитивной стадии развития [Galosha et al., 2016].

Среди природных факторов, влияющих на показатели ВРС, активно изучается комплекс экстремальных условий высокогорья. Кроме уже упомянутой выше работы Boos [Boos et al., 2017], данной

проблематике посвящен целый ряд исследований. Так, среди уроженцев кыргызстанского высокогорья (студенты обоего пола 18-22 лет) отмечается преобладание тонических характеристик парасимпатических механизмов с высоким уровнем симпатической реактивности и вегетативного обеспечения, у жителей низкогорья – уравновешенность симпатического и парасимпатического отделов ВНС [Gorbylyova, Zarifyan, 2016]. Напряжение регуляторных систем организма и снижение адаптационных возможностей выявлено у девушек высокогорья (Таджикистан) сравнительно с выборкой низкогорья (Казахстан) [Mindubayeva et al., 2016]. Исследуется также эффект низких температур и сезонности климата. Например, изучение добровольцев из Индии в условиях антарктической зимы показало у последних учащение сердцебиения, повышение кровяного давления и низкочастотного (симпатического) компонента ВРС по сравнению с аналогичной группой, обследованной в период антарктического лета [Harinath et al., 2005]. Сходные результаты получены при изучении группы зимовщиков на украинской станции «Академик Вернадский» [Kalinsh et al., 2016]. Анализ показателей variability сердечного ритма с учетом исходного типа вегетативной регуляции был проведен у молодых представителей коренных народов Севера (Магаданская область) [Loskutova, Maximov, 2016]. Попытка объяснить факт повышенной смертности от сердечно-сосудистых заболеваний в зимний период, отмечаемый во многих странах, была предпринята международной группой ученых, набравших для этой цели 120 добровольцев – здоровых мужчин. Учитывая дополнительно такие факторы, как возраст, индекс массы тела, уровень холестерина в сыворотке крови и систолическое давление, исследователи пришли к выводу, что variability сердечного ритма в зимний период достоверно понижена [Kristal-Boneh et al., 2000]. Похожее исследование было проведено с участием добровольцев разной специализации – научных работников и сотрудников МЧС (по 13 человек в каждой группе); последние имели больший контакт с окружающей средой в силу профессии. Измерения проводились в декабре и в июле, результаты показали отсутствие сезонных колебаний ВРС для научных работников, тогда как для сотрудников МЧС отмечено снижение парасимпатического и повышение симпатического компонента ВРС в зимний период по сравнению с летним [Markov et al., 2016]. Для variability сердечного ритма у детей 3 и 4 лет в условиях крайнего Севера отсутствовало значимое изменение показателей в зависимости от сезона [Onikul, 2016]. Однако, как показали исследования, на формирование уровня variability сердечного ритма

может влиять время года рождения. В эксперименте с участием 1871 здоровых испытуемых были подтверждены результаты более ранних исследований, показавших, что мужчины, рожденные в зимние месяцы, характеризуются меньшим соотношением LF/HF в спокойном состоянии в сравнении с теми, кто родился летом и осенью, и имеют более высокий уровень HF по сравнению с родившимися летом. Также различия по соотношению LF/HF между рожденными зимой и летом были показаны для мужчин во время выполнения поставленной экспериментаторами задачи. У мужчин низкий уровень ВРС был ассоциирован с депрессией и такой личностной чертой как открытость [Iseger et al., 2019].

Крайне эпизодически встречаются работы в более всего интересующей антрополога области – нормальной физиологии практически здоровых людей. Продольное исследование этнических (белые и афроамериканцы) и половых различий ВРС показало, что у афроамериканцев выше показатели RMSSD и HF в состоянии покоя по сравнению с белыми американцами. У женщин более выраженное снижение обоих показателей во время экспериментальной ситуации (видеоигры). Этнические и половые различия оказались устойчивы в течении полутора лет эксперимента. Не выявлено достоверных половых различий ВРС покоя, но на экспериментальный стресс; этнических различий в ответ на экспериментальный стресс не обнаружено. Масса тела, маркируемая весоростовым индексом и обхватом талии, является предиктором снижения ВРС состояния покоя [Li et al., 2009]. Сравнительный анализ ВРС школьников – коренных и некоренных жителей Югры – показал различия в динамике возрастных изменений, в частности, более высокий адаптационный потенциал у аборигенов сравнительно с пришлым населением [Elman et al., 2016]. Для выборки удмуртских студентов показано, что индивидуальные типы регуляции сердечного ритма различаются не только по вегетативному балансу, но и по уровню физического здоровья и физической подготовленности [Shumikhina, 2016].

ВРС и нейрофизиология

Выше уже упоминалось о тесной связи между ВРС и мозгом, что обсуждается в целом ряде междисциплинарных моделей в современной литературе [Ernst, 2017]. Согласно нейровисцеральной интегративной модели, ВРС важна не столько для понимания состояния сердца, сколько – состояния мозга [Thayer et al., 2012]. В частности, показана связь variability сердечного ритма с

эмоциональной регуляцией. Способность регулировать эмоции, по сути, представляет собой способность гибко менять перцептивные и эмоциональные мозговые процессы в ответ на меняющийся контекст. Эмоции отражают индивидуальный статус текущей корректировки при постоянно изменяющихся требованиях окружающей среды [Thayer et al., 2012]. Индивиды с лучше выраженной способностью к эмоциональной регуляции имеют более высокий уровень ВРС в состоянии покоя [Appelhans, Luesken, 2006; Thayer, Lane, 2009]. Результаты исследования с участием молодых людей, разделенных на 2 группы – 1) с преимущественно позитивной эмоциональной регуляцией (N=10) и 2) с крайне негативным стилем эмоциональной регуляции (N=10) – показали статистически достоверные отличия по оцениваемым параметрам ВРС в первой группе испытуемых в зависимости от этапа эксперимента (фон, ожидание стрессового стимула, предъявление стрессового стимула, восстановление); во второй группе достоверных различий выявлено не было [Bornas et al., 2019]. Есть данные, что у индивидов с низким уровнем ВРС в состоянии покоя происходит замедленное восстановление нормальных показателей сердечно-сосудистой, эндокринной и иммунной систем после психологического стресса [Weber et al., 2010]. Таким образом, ВРС является показателем психологической устойчивости и гибкости поведения, что отражает способность человека эффективно адаптироваться к изменяющимся социальным или экологическим требованиям. Уже упоминались также данные об ассоциированности показателей ВРС с когнитивными функциями. Если более ранние исследования таких ассоциаций рассматривали ВРС как зависимую переменную, современный подход рассматривает данный показатель как независимую величину. При этом направление связей варьирует в зависимости от типа задач, поставленных экспериментатором, например, в исследовании Хансен [Hansen et al., 2003] испытуемые, лучше выполнявшие задание, требующее внимания и задействующее рабочую память, характеризовались высокой ВРС, тогда как в простом эксперименте на время реакции они не отличались по успешности выполнения задания от субъектов с низкой ВРС. Исследование на детях и подростках 8-18 лет показало, что изменчивость ВРС для этих возрастов больше связана с физиологией вегетативной нервной системы, чем с факторами среды [Seifert et al., 2014].

Заключение

Итак, совокупность работ, касающихся вариативности ритма сердца, свидетельствует о зна-

чительном методическом потенциале параметров ВРС. Активность вегетативной нервной системы, отражающая реакцию организма на напряжение, показала свою работоспособность и востребованность в разных областях: возрастной физиологии, при изучении полового диморфизма, в космической кардиологии, в клинических исследованиях как эндофенотип ряда физических и психологических заболеваний, как маркер адаптации при спортивных нагрузках, индикатор уровня функциональных резервов кардиореспираторной системы, показатель адекватности режима тренировок, как маркер адаптации к экстремальным природным условиям и повышенной антропогенной нагрузке, для прогнозирования стрессоустойчивости организма в профессиональном отборе; прогнозирования психических состояний и уровня стресса. ВРС может использоваться в антропологической практике при обследовании современного населения, в антропозологии, аукологии, спортивной морфологии.

Еще раз повторим, что формирование системного представления о характере и тесноте межсистемных связей соматических, психологических, физиологических параметров, равно как и степени их автономности, по-прежнему остается актуальной теоретической и практической задачей в контексте изучения дискуссионной проблемы конституции человека и проблемы изучения механизмов адаптации к антропогенным нагрузкам высокого уровня. В недавнем исследовании интегральных аспектов структуры общей конституции в юношеском возрасте [Федотова с соавт., 2018], авторами настоящего обзора показана высокая информативность системы ЭЭГ показателей, на настоящий момент не используемых в практике антропологии, для описания морфофункционального статуса на модели московских студентов 18-20 лет. Привлечение параметров ЭЭГ, в частности, показателей альфа-ритма покоя, являющихся по существу генетическими маркерами с наследственной обусловленностью до 96%, для комплексной оценки конституции методами факторного анализа показало неоднородность параметров внутри каждой из систем (сома, психометрика, ЭЭГ); указывает на повышенную частоту устойчивых межсистемных связей для признаков с высокой степенью наследственной обусловленности, формирующих «генетический каркас» конституциональной целостности (в частности, скелетный компонент сомы, параметры альфа ЭЭГ покоя); выявляет половой диморфизм структуры этого каркаса (эктоморфия и автономность поведения у юношей; экто-мезоморфия и конформность поведения у девушек). До этого момента исследование соизменчивости нескольких систем показателей

на материалах юношеской студенческой выборки [Дерябин с соавт., 2003; Negasheva, 2018] – соматических, функциональных, дерматоглифических и психологических признаков, а также полиморфизма ряда генов – выявляло несколько иные результаты: «однородность» отдельной автономной системы соматических признаков, описываемой фактором макро-микросомии; отсутствие принципиальных половых различий; небольшие значимые межсистемные связи в рамках целостности организма, не преодолевающие 5%-ный порог случайных корреляций при работе с большими наборами показателей. Привлечение к комплексному исследованию морфофункционального статуса еще одной системы физиологических показателей, ВРС, также по существу генетических маркеров, как и ЭЭГ параметры, может расширить современные представления о механизмах адаптации в урбанизированной среде и дополнить систему взглядов на проблему конституции человека.

Библиография

- Алейникова Т.В. Вариабельность сердечного ритма (обзор литературы) // Проблемы здоровья и экологии, 2012. Т. 31. № 1. С. 17-23.
- Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // Вестник аритмологии, 2001. № 24. С. 69-85.
- Баевский Р.М., Никулина Г.А. Холтеровское мониторирование в космической медицине: анализ вариабельности сердечного ритма // Вестник аритмологии, 2000. № 16. С. 6-16.
- Баевский Р.М., Фунтова И.И., Лучицкая Е.С. и др. Исследования вариабельности сердечного ритма во время сна на борту Международной космической станции // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 2012. Вып. 1. С. 30-37.
- Белоглазова М.В. Внутриндивидуальная вариация показателей вариабельности сердечного ритма у здоровых лиц // Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки: сборник статей по материалам XV международной студенческой научно-практической конференции № 1 (15). Электронный ресурс. URL: [https://sibac.info/archive/nature/1\(15\).pdf](https://sibac.info/archive/nature/1(15).pdf) (дата обращения – 24.01.2020).
- Бойцов С.А., Белозерцева И.В., Кучмин А.Н. и др. Возрастные особенности изменений показателей вариабельности сердечного ритма у практически здоровых лиц // Вестник аритмологии, 2002. № 26. С. 26-57.
- Бондаренко В.Ф., Исмаилова А.К., Курбаналмева Ю.А., Тетерина И.А. Зависимость вариабельности сердечного ритма от частоты сердечных сокращений в юношеском возрасте // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки, 2018. № 3. С. 94-102.
- Галеев А.Р., Игишева Л.Н., Казин Э.М. Вариабельность сердечного ритма у здоровых детей в возрасте 6-16 лет // Физиология человека, 2002. Т. 28. № 4. С. 54-58.
- Гандельсман А.Б., Васильева В.В. Показатели состояния тренированности // В кн.: Руководство по физиологии. Физиология мышечной деятельности, труда и спорта. Л.: Наука, 1969. С. 393-401.
- Дадашова Г.М. Гендерные и возрастные особенности вариабельности сердечного ритма у практически здоровых лиц // Профилактическая медицина, 2015. № 18 (2). С. 54-58.
- Дерябин В.Е., Негашева М.А., Паристова А.В. Изучение связи между морфологическими и психологическими признаками на примере московских студенток // Вестник антропологии, 2003. № 10. С. 176-197.
- Догадкина С.Б. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у детей 8 лет // Новые исследования, 2011. Т. 34. № 1. С. 101-108.
- Догадкина С.Б. Особенности вегетативной нервной регуляции сердечного ритма у школьников 11-13 лет // Новые исследования, 2015. Т. 43. № 2. С. 21-26.
- Ковалева А.В., Панова Е.Н., Горбачева А.К. Анализ вариабельности ритма сердца и возможности его применения в психологии и психофизиологии // Современная зарубежная психология, 2013. № 1. С. 35-50.
- Коркушко О.В., Шатило В.Б., Шатило Т.В. и др. Анализ вегетативной регуляции сердечного ритма на различных этапах индивидуального развития человека // Физиология человека, 1991. Т. 17. № 2. С. 31-39.
- Котельников С.А., Ноздрачев А.Д., Одинок М.М. и др. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах // Физиология человека, 2002. Том 28. № 1. С. 130-143.
- Кравцова Л.А., Макаров Л.М., Школьников М.А. Нормативные параметры циркадной вариабельности ритма сердца у детей первого года жизни // Вестник аритмологии, 2000. № 18. С. 43-44.
- Кудря О.Н. Влияние физических нагрузок разной направленности на вариабельность ритма сердца у спортсменов // Бюллетень сибирской медицины, 2009. Т. 8. № 1. С. 36-43.
- Макаров Л.М. Холтеровское мониторирование. М.: Медицина, 2000.
- Мартимьянова Л.А., Макиенко Н.В. Устойчивость параметров вариабельности сердечного ритма у больных с мерцательной аритмией в пятиминутных интервалах измерений // Вестник Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина. Серия «Медицина», 2000. Т. 494. № 1. С. 1-6.
- Рябыкина Г.В., Соболев А.В. Вариабельность ритма сердца. М.: Из-во «СтарКо». 1998.
- Савенкова Е.А., Калинин Е.В., Селуянов В.Н. Ритм сердца в покое у лыжников высшей квалификации // Спортивная кардиология и физиология кровообращения. М.: РГУФК, 2006. С. 72-76.
- Соболева Е.А., Ляликова В.Б., Осокина Г.Г. Структура синусового сердечного ритма у здоровых детей // Вопросы охраны материнства и детства, 1984. № 3. С. 10.
- Федотова Т.К., Горбачева А.К., Сухова А.В., Ковалева А.В., Лузьмина Т.И. и др. Поиск новых подходов к изучению психосоматических связей в антропологии: третий этап исследования // Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология, 2018. № 3. С. 61-79.
- Хаятин В.М., Лукошкова Е.В. Колебания частоты сердцебиений: спектральный анализ // Вестник аритмологии, 2002. № 26. С. 10-21.
- Шевелева А.М. Возрастные и половые особенности вариабельности сердечного ритма у здоровых подростков // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета, 2019. Т. 69. № 1. С. 125-127.

Сведения об авторах

Горбачева Анна Константиновна, к.б.н.;
ORCID ID: 0000-0001-5201-7128; angoria@yandex.ru;
Голубева Наталья Кимовна, к.м.н.; rektorat@sechenov.ru;
Федотова Татьяна Константиновна, д.б.н.;
ORCID ID: 0000-0001-7750-7924; tatiana.fedotova@mail.ru

Поступила в редакцию 26.02.2020,
принята к публикации 27.02.2020.

Gorbacheva A.K.¹⁾, Golubeva N.K.²⁾, Fedotova T.K.¹⁾¹⁾ Lomonosov Moscow State University, Anuchin Institute and Museum of Anthropology, Mokhovaya st., 11, Moscow, 125009, Russia;²⁾ Sechenov First Moscow State Medical University, Department of Physiology, Mokhovaya st., 11-4, Moscow, 125009, Russia

HEART RATE VARIABILITY AND ITS PERSPECTIVES IN ANTHROPOLOGICAL STUDIES (REVIEW)

Heart rate variability (HRV) is fluctuations of the interval between successive heart systoles. Physiological studies of HRV interpret parameters of HRV as valid and objective characteristic of vegetative nervous system (sympathetic and parasympathetic sections), reflecting, in its turn, the dynamics of psycho-emotional status and every stress condition, the level of anxiety, cognitive functions break (attention, motivation). Simultaneously HRV is the most perspective quantitative indicator of vegetative activity, which may be fixed in modern studies by a number of simple devices and methods. The review includes some methodical aspects of HRV measures, genetic influence, sex and age variability, origin and role of the method in space and clinical medicine, sport practice, ecological studies, rare population studies, interdisciplinary aspects, perspectives of the indices in anthropological practice.

Keywords: anthropology; physiology; methodic of analysis of HRV; genetic contribution to HRV; age/sex variability; ethnic peculiarities; reaction to exogenic stress

References

- Alejnukova T.V. Variabelnost' serdechnogo ritma (obzor literatury) [Heart rate variability (literature review)]. *Problemy zdoroviya i ekologii* [Problems of health and ecology], 2012, 31 (1), pp. 17-23. (In Russ.).
- Baevskiy R.M., Ivanov G.G., Tchireykin L.V., Gavrilushkin A.P., Dovgalevsky P.Ya. et al. Analiz variabelnosti serdechnogo ritma pri ispolzovanii razlichnykh electrocardiograficheskikh sistem (metodicheskie rekomendatsii) [Heart rate variability analysis by using different electrocardiographic systems (methodical recommendations)]. *Vestnik aritmologii* [Journal of Arrhythmology], 2001, 24, pp. 69-85. (In Russ.).
- Baevskiy R.M., Nikulina G.A. Holterovskoe monitorirovanie v kosmicheskoy meditsine: analiz variabelnosti serdechnogo ritma [Holter monitoring in space medicine: analysis of heart rate variability]. *Vestnik aritmologii* [Journal of Arrhythmology], 2000, 16, pp. 6-16. (In Russ.).
- Baevskiy R.M., Funtova I.I., Luchnitskaya E.S. et al. Issledovaniya variabelnosti serdechnogo ritma vo vremya sna na bortu mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii [Researches of heart rate variability during the sleep onboard the International space station]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o zemle* [Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences], 2012, 1, pp. 30-37. (In Russ.).
- Beloglazova M.V. Vnutriindividualnaya variatsiya pokazateley variabelnosti serdechnogo ritma u zdorovykh lits [Intraindividual variability of indexes of heart rate variability in healthy persons]. In *Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Estestvennye nauki: sbornik statey po materialam XV mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii № 1* (15). [Scientific society of students of XV century. Natural Sciences: collected articles on data of XV International student scientific and practical conference № 1 (15)]. Available at: [https://sibac.info/archive/nature/1\(15\).pdf](https://sibac.info/archive/nature/1(15).pdf). Accessed: 24.01.2020.
- Boytsov S.A., Belozertseva I.V., Kuchmin A.N. et al. Vozrastnye osobennosti izmeneniy pokazateley variablnosti serdechnogo ritma u prakticheski zdorovykh lits [Age specificity of changes of heart rate variability indices in healthy persons]. *Vestnik aritmologii* [Journal of Arrhythmology], 2002, 26, pp. 26-57. (In Russ.).
- Bondarenko V.F., Ismailova A.K., Kurbanalmeva U.A., Teterina I.A. Zavisimost variabelnosti serdechnogo ritma ot chastoty serdechnykh sokrascheniy v unosheskom vozraste [Dependence of heart rate variability from heart rate in adolescence]. *Vestnik Baltiyskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye i meditsinskie nauki* [IKBFU's Vestnik: Natural and medical sciences], 2018, 3, pp. 94-102. (In Russ.).
- Galeev A.R., Igisheva L.N., Kazin E.M. Variabelnost serdechnogo ritma u zdorovykh detey v vozraste 6-16 let [Heart rate variability in healthy children aged 6-16 years]. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology], 2002, 28 (4), pp. 54-58. (In Russ.).
- Gandelsman A.B., Vasilyeva V.V. Pokazateli sostoyaniya trenirovannosti [Markers of training status]. In *Rukovodstvo po fiziologii. Fiziologiya myshechnoy deyatelnosti, truda i sporta* [Manual in physiology. Physiology of muscle activity, labor and sports]. Leningrad, Nauka Publ., 1969, pp. 393-401. (In Russ.).
- Dadashova G.M. Gendernye i vozrastnye osobennosti variabelnosti serdechnogo ritma u prakticheski zdorovykh lits [Gender and age specificity of heart rate variability in healthy persons]. *Profilakticheskaya meditsyna* [Russian Journal of Preventive Medicine and Public Health], 2015, 18 (2), pp. 54-58. (In Russ.).
- Deryabin V.E., Negasheva M.A., Paristova A.V. Izuchenie svyazi mezhdu morfologicheskimi i psichologicheskimi priznakami na primere moskovskikh studentok [Study of correlations between morphological and psychological parameters based on the sample of Moscow female students]. *Vestnik antropologii* [Bulletin of anthropology], 2003, 10, pp. 176-197. (In Russ.).
- Dogadkina S.B. Osobennosti vegetativnoy regulyatsii serdechnogo ritma u detey 8 let [Specific of autonomic regulation of heart rate in children aged 8 years]. *Novye issledovaniya* [New research], 2011, 34 (1), pp. 101-108. (In Russ.).
- Dogadkina S.B. Osobennosti vegetativnoy nervnoy regulyatsii serdechnogo ritma shkolnikov 11-13 let [Specificity of autonomic regulation of heart rate in schoolchildren aged 11-13 years]. *Novye issledovaniya* [New research], 2015, 43 (2), pp. 21-26. (In Russ.).
- Kovaleva A.V., Panova E.N., Gorbacheva A.K. Analiz variabelnosti ritma serdtsa i vozmozhnosti ego primeneniya v psichologii i psihofiziologii [Analysis of heart rate variability and possibility of its

- utilization in psychology and psychophysiology]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya* [Journal of Modern Foreign Psychology], 2013, 1, pp. 35-50. (In Russ.).
- Korkushko O.V., Shatilov V.B., Shatilov T.V. et al. Analiz vegetativnoy regulatsii serdechnogo ritma na razlichnykh etapakh individualnogo razvitiya cheloveka [An analysis of the autonomic regulation of cardiac rhythm at different stages in individual human development]. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology], 1991, 17 (2), pp. 31-39. (In Russ.).
- Kotelnikov S.A., Nozdachev A.D., Odinak M.M. et al. Variabelnost ritma serdtsa: predstavleniya o mekhanizmakh [Heart rate variability: interpretation of mechanisms]. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology], 2002, 28 (1), pp. 130-143. (In Russ.).
- Kravtsova L.A., Makarov L.M., Shkolnikova M.A. Normativnye parametry tsirkadnoy variabelnosti ritma serdtsa u detey pervogo goda zhizni [Normative parameters of circadian variability of a rhythm of heart at children of the first year of life]. *Vestnik aritmologii* [Journal of Arrhythmology], 2000, 18, pp. 43-44. (In Russ.).
- Kudrya O.N. Vliyaniye fizicheskikh nagruzok raznoy napravlenosti na variabelnost ritma serdtsa u sportsmenov [The influence of the different direction physical tensions for heart rate variability of sportsmen]. *Bulleten sibirskoy meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine], 2009, 8 (1), pp. 36-43. (In Russ.).
- Makarov L.M. *Holterovskoe monitoringirovaniye* [Holter monitoring]. Moscow, Meditsina Publ., 2000. 104 p. (In Russ.).
- Martimyanova L.A., Makienko N.V. Ustoychivost parametrov variabelnosti serdechnogo ritma u bolnykh s mertsatelnoy aritmiyey v pyatiminutnykh intervalakh izmereniy [Short-term HRV parameters stability in atrial fibrillation patients]. *Vestnik Harkovskogo Natsionalnogo Universiteta imeni V.N. Karazina. Seriya «Meditsina»* [Bulletin of Kharkov National V.N. Karazin University. Medicine Series], 2000, 494 (1), pp. 1-6. (In Russ.).
- Ryabykina G.V., Sobolev A.V. *Variabelnost ritma serdtsa* [Heart rate variability]. Moscow, StarKo Publ., 1998. 196 p. (In Russ.).
- Savenkova E.A., Kalinin E.V., Seluyanov V.N. Ritm serdtsa v pokoe u lyzhnikov vysshey kvalifikatsii [Heart rate at rest of skiers of the higher qualification]. In *Sportivnaya kardiologiya i fiziologiya krovoobrascheniya* [Sport cardiology and physiology of blood circulation]. Moscow, RGUFK Publ., 2006, pp. 72-76. (In Russ.).
- Soboleba E.A., Lyalikova V.B., Osokina G.G. Struktura sinusovogo serdechnogo ritma u zdorovykh detey [The structure of sinus heart rate of healthy children]. *Voprosy ohrany materinstva i detstva* [Problems of motherhood and childhood protection], 1984, 3, pp. 10. (In Russ.).
- Fedotova T.K., Gorbacheva A.K., Sukhova A.V., Kovaleva A.V., Kuzmina T.I. et al. Poisk novykh podhodov k izucheniyu psichosomaticheskikh svyazey v antropologii: tretiy etap issledovaniya [Search of new approaches to study of psychosomatic associations in anthropology: third stage of research]. *Moscow University Anthropology Bulletin* [Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya XXIII. Antropologiya], 2018, 3, pp. 61-79. (In Russ.).
- Khaitut V.M., Lukoshkova E.V. Kolebaniya chastoty serdtsebeniya: spektralnyy analiz [Heart rate fluctuations: spectral analysis]. *Vestnik aritmologii* [Journal of Arrhythmology], 2002, 26, pp. 10-21. (In Russ.).
- Shevelyova A.M. Vozrastnyye i polovyye osobennosti variabelnosti serdechnogo ritma u zdorovykh podrostkov [Age and sex specificity of heart rate variability in healthy adolescences]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta* [Journal of Volgograd state medical university], 2019, 69 (1), pp. 125-127. (In Russ.).
- An H., Han J.W., Jeong H.G., Kim T.H., Lee J.J. et al. Parasympathetic predominance is a risk factor for future depression: A prospective cohort study. *J. Affect. Disord.*, 2020, 260 (1), pp. 232-237.
- Appelhans B.M., Lueken L.J. Heart rate variability as an index of regulated emotional responding. *Rev. Gen. Psychol.*, 2006, 10, pp. 229-240.
- Ashtiyani M., Lavasani S.N., Alvar A.A., Asgharzadeh A. A., Deebband M.R. Heart Rate Variability Classification using Support Vector Machine and Genetic Algorithm. *J. Biomed. Phys. Eng.*, 2018, 8 (4), pp. 423-434.
- Bashkatova Yu. V., Pakhomov A.A., Nersisyan N.N. et al. Dynamics of students RR-intervals in terms of physical activity. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Vasilievich Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 58-62.
- Bayevsky R.M. Variability of the warm rhythm in Space medicine. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Vasilievich Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 15-19.
- Bayevsky R. M., Rusanov V. B., Chernikova A. G. et al. Daily dynamics of vegetative regulation of blood circulation and her communication with electrophysiological characteristics of the myocardium in the conditions of space flight (experiment "Kosmokard"). *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Vasilievich Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 45-48.
- Bersenev E.Y. Some features of prevalence of low-frequency fluctuations of the rhythm of heart at professional players in volleyball. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Vasilievich Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 68-71.
- Bliznetsova E. A., Antonova L. K., Kushnir S. M. Types of vegetative regulation at prematurely born children with the delay of pre-natal development. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Vasilievich Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 75-79.
- Boos C.J., Vincent E., Mellor A., O'Hara J., Newman C. The Effect of Sex on Heart Rate Variability at High Altitude. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2017, 49 (12), pp. 2562-2569.
- Bornas X., Fiol-Veny A., Balle M. How Far has Your Heart Travelled? Examining Heart System Trajectories in State Space. *Nonlinear Dynamics Psychol. Life Sci.*, 2019, 23 (4), pp. 415-432.
- Bourdon J.L., Moore A.A., Eastman M., Savage J.E., Hazlett L. et al. Resting Heart Rate Variability (HRV) in Adolescents and Young Adults from a Genetically-Informed Perspective. *Behav. Genet.*, 2018, 48 (5), pp. 386-396.
- Brown L., Karmakar C., Gray R., Jindal R., Lim T. et al. Heart rate variability alterations in late life depression: A meta-analysis. *J. Affect. Disord.*, 2018, Vol. 235, pp. 456-466.
- Brook T.M., Litvin F.B., Osipova N.V. et al. Features of reaction of the organism of football players to the exercise stress taking into account game role. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Vasilievich Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 84-88.
- Buchheit M. Sensitivity of monthly heart rate and psychometric measures for monitoring physical performance in highly trained young handball players. *Int. J. Sports Med.*, 2015, 36 (5), pp. 351-356.
- Chang J.S., Yoo C.S., Yi S.H., Her J.Y., Choi H.M. et al. An integrative assessment of the psychophysiological alterations in young women with recurrent major depressive disorder. *Psychosom. Med.*, 2012, 74, pp. 495-500.
- Chuang K.J., Chan C.C., Su T.C., Lee C.T., Tang C.S. The effect of urban air pollution on inflammation, oxidative stress, coagulation, and autonomic dysfunction in young adults. *Am. J. Respir. Crit. Care*, 2007, 176 (4), pp. 370-376.
- Coelho A.B., Nakamura F.Y., Morgado M.C., Holmes C.J., Di Baldassarre A. et al. Heart Rate Variability and Stress Recovery Responses during a Training Camp in Elite Young Canoe Sprint Athletes. *Sports (Basel)*, 2019, 7 (5), pp. 1-10.
- Dantas E.M., Kemp A.H., Androero R.V., da Silva V.J.D., Brunoni A.R. et al. Reference values for short-term resting-state heart rate variability in healthy adults: results from the Brazilian Longitudinal Study of Adult Health-ELSA-Brasil study. *Psychophysiology*, 2018, 55 (6), pp. 13052. doi: 10.1111/psyp.13052.
- Dobrovolsky A.S., Galushchenko A.V. Experience of application of nonlinear methods of variability of the warm rhythm in kettlebell

- sport. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 116-120.
- Elman K.A., Filatova D.Y., Srybnik M.A., Glazova O.A. Estimation of parameters of cardiorespiratory system of students of Ugra. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 293-297.
- Ernst G. Heart-rate variability – more than heart beats? *Front Public Health*, 2017, 5, pp. 240.
- Filatova O.E., Rusak S.N., Maistrenko E.V., Dobrynina I.Y. Aging dynamics of cardio-vascular systems homeostasis. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 255-259.
- Galosha A.I., Rudin M.V., Shkuricheva E.V. et al. Typological features of vegetative regulation of the warm rhythm at the boys and girls who are constantly living in territories with the increased radiation level. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 132-134.
- Gavrilova E.A. Vegetative regulation of the rhythm of heart as criterion of purpose of pharmacological correction in sport. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 96-102.
- Golosheykin S., Grant J.D., Novak O.V., Heath A.C., Anokhin A.P. Genetic influences on heart rate variability. *Int. J. Psychophysiol.*, 2017, 115, pp. 65–73.
- Gorbylyova K.V., Zarifyan A.G. Indicators of variability of the warm rhythm at students natives of various mountain region of Kyrgyzstan. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 108-110.
- Hansen A.L., Johnsen B.H., Thayer J.F. Vagal influence on working memory and attention. *Int. J. Psychophysiol.*, 2003, 48, pp. 263-274.
- Harinath K., Malhotra A.S., Pal K., Kumar R., Sawhney R.C. Autonomic nervous system and adrenal response to cold in man at Antarctica. *Wilderness Environ. Med.*, 2005, 16 (2), pp. 81-91.
- Harrewijn A., Van der Molen MJW, Verkuil B., Sweijen S.W., Houwing-Duistermaat J.J. et al. Heart rate variability as candidate endophenotype of social anxiety: A two-generation family study. *J. Affect Disord.*, 2018, 237, pp. 47-55.
- Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task force European society of cardiology and North American society of pacing and electrophysiology. *Eur. Heart J.*, 1996, 17, 354 p.
- Hernando A., Lazaro J., Gil E., Arza A., Garzon J.M. et al. Inclusion of Respiratory Frequency Information in Heart Rate Variability Analysis for Stress Assessment. *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, 2016, 20 (4), pp. 1016-1025.
- Hill L.K., Hu D.D., Koenig J., Sollers J.J. 3rd, Kapuku G. et al. Ethnic differences in resting heart rate variability: a systematic review and meta-analysis. *Psychosom Med.*, 2015, 77 (1), pp. 16-25.
- Huikuri H.V., Makikallio T.H., Peng C.K., Goldberger A.L., Hintze U. et al. Fractal correlation properties of R-R interval dynamics and mortality in patients with depressed left ventricular function after an acute myocardial infarction. *Circulation*, 2000, 101 (1), pp. 47-53.
- Iseger T.A., Vollebregt M.A., Krepel N., Arns M. Heart rate variability related to season of birth: A replication study. *Psychophysiology*, 2019, 56 (10), pp. 1-11.
- Jin M.J., Kim J.S., Kim S., Hyun M.H., Lee S.H. An integrated model of emotional problems, beta power of electroencephalography, and low frequency of heart rate variability after childhood trauma in a non-clinical sample: a path analysis study. *Front. Psychiatry*, 2018, 8, pp. 1-9.
- Johnsen B.H., Thayer J.F., Laberg J.C., Wormnes B., Raadal M. et al. Attentional and physiological characteristics of patients with dental anxiety. *J. Anxiety Disord.*, 2003, 17, pp. 75-87.
- Jung W., Jang K.I., Lee S.H. Heart and brain interaction of Psychiatric illness: a Review focused on heart rate variability, cognitive function, and quantitative electroencephalography. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, 2019, 17 (4), pp. 459-474.
- Kalnish V.V., Pyshnov G.Y., Moiseyenko E.V., Opanasenko V.V., Alekseyeva L.M. et al. Heart rate regulation during adaptation to conditions in Antarctica. *Fiziol. Zh.*, 2016, 62 (3), pp. 20-29.
- Kaltsatou A., Flouris A.D., Herry C.L., Nottley S.R., Seely A.J.E. et al. Age differences in cardiac autonomic regulation during intermittent exercise in the heat. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2020, 120 (2), pp. 453-465.
- Kerr K.F., Avery C.L., Lin H.J., Raffield L.M., Zhang Q.S. et al. Genome-wide association study of heart rate and its variability in Hispanic/Latino cohorts. *Heart Rhythm*, 2017, 14 (11), pp. 1675-1684.
- Koenig J., Thayer J.F. Sex differences in healthy human heart rate variability: A meta-analysis. *Neurosci Biobehav. Rev.*, 2016, 64, pp. 288-310.
- Kristal-Boneh E., Froom P., Harari G., Malik M., Ribak J. Summer-winter differences in 24h variability of heart rate. *J. Cardiovasc. Risk.*, 2000, 7 (2), pp. 141-146.
- Kuznetsova I.A., Melnikova D.V. Vegetative ensuring activity of warm and vascular system and physical efficiency of young hockey players of 15-16 years. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 138-142.
- La Rovere M.T., Pinna G.D., Maestri R., Mortara A., Capomolla S. et al. Short-term heart rate variability strongly predicts sudden cardiac death in chronic heart failure patients. *Circulation*, 2003, 107 (4), pp. 565-570.
- Levushkin S.P., Barchukova G.V., Zhilkin A.N. et al. Use of the technique of the analysis variabilities of the warm rhythm in the preparatory period of training process of highly skilled tennis players. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 150-154.
- Li Z., Snieder H., Su S., Ding X., Thayer J.F. et al. A longitudinal study in youth of heart rate variability at rest and in response to stress. *Int. J. Psychophysiol.*, 2009, 73 (3), pp. 212-217.
- Loskutova A.N., Maximov A.L. Indicators of variability of the cordial rhythm and variance mapping of a ECG at natives of the Magadan region. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 176-180.
- Maheshwari A., Norby F.L., Soliman E.Z., Adabag S., Whitsel E.A. et al. Low heart rate variability in a 2-minute electrocardiogram recording is associated with an increase risk of sudden cardiac death in the general population: the atherosclerosis risk in communities study. *PLoS One*, 2016, 11 (8), pp. 1-12.
- Makarov L.M., Komoliatova V.N., Zeval'd S.V., Schmidt G., Muller A., et al. Holter monitoring in healthy children during first days of life. *Kardiologiya*, 2009, 49 (10), pp. 27-30.
- Markov A., Solonin I., Bojko E. Heart rate variability in workers of various professions in contrasting seasons of the year. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health.*, 2016, 29 (5), pp. 793-800.
- Mindubayeva F.A., Shukurov F.A., Salikhova E.Yu. Ethnic features of adaptive reactions of the students living in different climate-geographical conditions. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 192-196.
- Moodithaya S., Avadhany S.T. Gender differences in age-related changes in cardiac autonomic nervous function. *J. Aging Res.*, 2012, pp. 1-7.

- Morales J., Garcia V., Gargna-Massy X., Salva P. The use of heart rate variability in assessing precompetitive stress in high-standard judo athletes. *Int. J. Sports Med.*, 2013, 34 (2), pp. 144-151.
- Munoz M.L., van Roon A., Riese H., Thio C., Oostenbroek E. et al. Validity of (Ultra-)Short Recordings for Heart Rate Variability Measurements. *PLoS One*, 2015, 10 (9), pp. 1-15.
- Mucoz M.L., Jaju D., Voruganti S., Albarwani S., Aslani A., et al. Heritability and genetic correlations of heart rate variability at rest and during stress in the Oman Family Study. *J. Hypertens.*, 2018, 36 (7), pp. 1477-1485.
- Negasheva M.A. A Model of Relationships between Different Systems of Characters and the Adaptation Potential of the Body in Early Adulthood. *Human Physiology*, 2018, 44 (4), pp. 394-401.
- Nenna A., Lusini M., Spadaccio C., Nappi F., Greco S.M. et al. Heart rate variability: a new tool to predict complications in adult cardiac surgery. *J. Geriatr. Cardiol.*, 2017, 14, pp. 662-668.
- Onikul E.V. Variability of the warm rhythm of children of 3 and 4 years during the winter and summer periods in the conditions of the North. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 210-213.
- Otsuka K., Izumi R., Ishioka N., Ohshima H., Mukai C. Chronomics of heart rate variability on earth and in space. *Respir. Physiol. Neurobiol.*, 2009, 169 (1), pp. 69-72.
- Otsuka K., Cornelissen G., Furukawa S., Kubo Y., Hayashi M. et al. Long-term exposure to space's microgravity alters the time structure of heart rate variability of astronauts. *Heliyon*, 2016, 2 (12), pp. 1-31.
- Otsuka K., Cornelissen G., Kubo Y., Shibata K., Mizuno K. et al. Anti-aging effects of long-term space missions, estimated by heart rate variability. *Sci. Rep.*, 2019, 9 (1), pp. 1-12.
- Paniccia M., Paniccia D., Thomas S., Thomas S., et al. Clinical and non-clinical depression and anxiety in young people: A scoping review on heart rate variability. *Auton. Neurosci.*, 2017, 208, pp. 1-14.
- Prusov P.K., Iusov I.G. Sexual distinctions of dynamics of variability of the warm rhythm at young sportsmen after the dosed submaximum load. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 217-221.
- Pseunok A.A. Variability of the warm rhythm young sambo wrestlers of 14-16 years. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016a, pp. 221-224.
- Pseunok A.A. Features of vegetative regulation of the warm rhythm at young bicycle racers of 10-14 years. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016b, pp. 224-227.
- Schnell I., Potcher O., Epstein Y., Yaakov Y., et al. The effects of exposure to environmental factors on Heart Rate Variability: an ecological perspective. *Environ. Pollut.*, 2013, 183, pp. 7-13.
- Schnell I., Potcher O., Vaskov Y., Epstein Y. *Human exposure to environmental health concern by types of urban environment: The case of Tel Aviv*. *Environ. Pollut.*, 2016, 208, pp. 58-65.
- Seifert G., Calaminus G., Wiener A., Cysarz D. Heart rate variability reflects the natural history of physiological development in healthy children and is not associated with quality of life. *PLoS One*, 2014, 9 (3), pp. 1-8.
- Sgoifo A., Carnevali L., Alfonso Mde L., Alfonso Mde L., Amore M. Autonomic dysfunction and heart rate variability in depression. *Stress*, 2015, 18 (3), pp. 343-352.
- Shaffer F., Ginsberg J.P. An Overview of Heart Rate variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, 2017, 5, pp. 1-17.
- Shlyk N.I. Rhythm of heart and type of the regulation at assessment of the functional readiness of the organism of young and adult athletes (according to the snap analysis of variability of the cardiac rhythm). *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 20-40.
- Shumikhina I.I. Features of adaptive opportunities of the student's organism. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 288-292.
- Sniieder H., van Doornen L.J., Boomsma D.I., Thayer J.F. Sex differences and heritability of two indices of heart rate dynamics: a twin study. *Twin Res. Hum. Genet.*, 2007, 10 (2), pp. 364-372.
- Spina G.D., Gonze B.B., Barbosa A.C.B., et al. Presence of age- and sex-related differences in heart rate variability despite the maintenance of a suitable level of accelerometer-based physical activity. *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 2019, 52 (8), pp. 1-6.
- Struchkova I.V., Antonova L.K., Kushnir S.M. Features of variability of the warm rhythm at healthy children aged from 1 year up to 7 years. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 245-248.
- Takakura I.T., Hoshi R.A., Santos M.A., Pivatelli F.C., et al. Recurrence plots: a new tool for quantification of cardiac autonomic nervous system recovery after transplant. *Braz. J. Cardiovasc. Surg.*, 2017, 32, pp. 245-252.
- Thayer J.F., Lane R.D. Claude Bernard and the heart-brain connection: further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 2009, 33, pp. 81-88.
- Thayer J.F., Ahs F., Fredrikson M., Sollers J.J. 3rd, Wager T.D. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 2012, 36 (2), pp. 747-756.
- Tuzlukova M.D. Types of regulation of the warm rhythm of skiers of Paralympians visually impaired persons in comparison with Olympians. *The heart rhythm and the type of autonomic regulation in assessing the health of the population and functional training of athlete, proceedings of the VI All Russia Symposium with international participation, dedicated to the memory of Academician Vasily Parin*, Izhevsk, 2016, pp. 248-251.
- Umetani K., Singer D.H., McCraty R., Atkinson M. Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: relations to age and gender over nine decades. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 1998, 31 (3), pp. 593-601.
- Uusitalo A.L., Vanninen E., Levlahti E., Battii M.C., Videman T. et al. Role of genetic and environmental influences on heart rate variability in middle-aged men. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 2007, 293 (2), pp. 1013-1022.
- Voss A., Heitmann A., Schroeder R., Peters A., Perz S. Short-term heart rate variability—age dependence in healthy subjects. *Physiological Measurement*, 2012, 33 (8), pp. 1289-1311.
- Warmerdam G.J.J., Vullings R., Van Laar JOEH., Van der Hout-Van der Jagt M.B., Bergmans J.W.M. et al. Detection rate of fetal distress using contraction-dependent fetal heart rate variability analysis. *Physiol. Meas.*, 2018, 39 (2), pp. 1-12.
- Weber C.S., Thayer J.F., Rudat M., Wirtz P.H., Zimmermann-Viehoff F. et al. Low vagal tone is associated with impaired post stress recovery of cardiovascular, endocrine, and immune markers. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2010, 109, pp. 201-211.
- Wang X., Ding X., Su S., Li Z., Riese H. et al. Genetic influences on heart rate variability at rest and during stress. *Psychophysiology*, 2009, 46 (3), pp. 458-465.

Information about Authors

Gorbacheva Anna K., PhD.; ORCID ID: 0000-0001-5201-7128; angoria@yandex.ru;
Golubeva Nataliya K., PhD.; rektorat@sechenov.ru;
Fedotova Tatiana K., PhD., D. Sc.; ORCID ID: 0000-0001-7750-7924; tatiana.fedotova@mail.ru.