

УДК 612.79; 615.37

DOI 10.24412/2312-2935-2023-1-278-293

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ПО ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРОВООБРАЩЕНИЯ У ПАЦИЕНТОВ СРЕДНЕГО И ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА

А.В. Рубинский^{1,2}, Н.О. Антипов³, В.А. Рябкова^{1,4}, В.Д. Исманова⁵, А.Н. Калиниченко³, В.Н. Марченко¹

¹ ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург

² АННО ВО НИЦ «Санкт-Петербургский институт биорегуляции и геронтологии», г. Санкт-Петербург

³ ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург

⁴ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург

⁵ Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, г. Москва

Введение. Согласно концепции ВОЗ понятие индивидуальной жизнеспособности, находящейся в основе здорового старения, обозначает совокупность всех физических и умственных способностей человека. Несмотря на высокий интерес к этому вопросу, на сегодняшний день не существует единого представления о физическом аспекте возрастной жизнеспособности, а также о ее изменчивости в различные возрастные периоды. Эффективность работы функциональных систем организма, среди которых одной из важнейших является система кровообращения, определяется во многом особенностями их регуляции. Ведущую роль в регуляции работы функциональных систем в организме человека играет нейроэндокринная система, реактивность которой может быть оценена путем сравнения показателей вариабельности ритмов разных отделов системы кровообращения, в частности, ритмов сердечных сокращений и пульса.

Цель исследования в совершенствовании диагностики физического аспекта возрастной жизнеспособности по особенностям регуляторных систем кровообращения у пациентов среднего и пожилого возраста

Материал и методы. Обследовали две группы пациентов, проходящих респираторную реабилитацию среднего (45-59 лет) и пожилого возраста (60–74 лет) по классификации ВОЗ. Исследование физикального состояния проводили по традиционной методике. Дополнительно проводили спироартериокардиографическое (САКР) исследование в покое и при выполнении пробы с физической нагрузкой.

Результаты. Показаны преимущества оценки регуляторных систем кровообращения по показателям хаотичности вариабельности показателей кровообращения по сравнению с традиционным подходом.

Заключение. В статье наглядно продемонстрированы преимущества использования аппроксимированной энтропии по сравнению с традиционным подходом. Выявлены различия между временными рядами интервалов RR, систола-систола и диастола-диастола при выполнении пробы со ступенчато возрастающей физической нагрузкой в группах пациентов

среднего и пожилого возраста. А также описаны отличительные особенности поведения показателя аппроксимированной энтропии у пациентов среднего возраста по сравнению с пациентами пожилого возраста в восстановительном периоде после пробы с физической нагрузкой.

Ключевые слова: жизнеспособность, пожилой возраст, физическая нагрузка, физическая реабилитация

STUDY OF RESILIENCE BY VARIABILITY OF BLOOD CIRCULATION PARAMETERS IN MIDDLE-AGED AND ELDERLY PATIENTS

A.V. Rubinskiy^{1,2}, *N.O. Antipov*³, *V.A. Ryabkova*^{1,4}, *V.D. Ismanova*⁵, *A. N. Kalinichenko*³,
*V. N. Marchenko*¹

¹ *Pavlov University, St. Petersburg*

² *St. Petersburg Institute of Bioregulation and Gerontology, St. Petersburg*

³ *Saint Petersburg Electrotechnical University, St. Petersburg*

⁴ *Saint Petersburg State University, St. Petersburg*

⁵ *Academy of postgraduate education under FSBU FSCC of FMBA, Moscow*

Introduction. According to the WHO the concept of individual resilience, which is the basis of healthy aging, refers to the totality of all physical and mental abilities of a person. Despite the high interest in this issue, today there is no single idea about the physical aspect of age-related resilience, as well as about its variability in different age periods. The effectiveness of the functional systems of the body, among which one of the most important is the cardiovascular system, is largely determined by the predictive of their regulation. The neuroendocrine system plays a leading role in regulating of functional systems in the human body, the reactivity of which can be assessed by comparing the parameters of the resilience of rhythms different parts of the cardiovascular system, in particular, heart rate and pulse rhythms.

The purpose research in improving the diagnosis of the physical aspect of age-related resilience according to the features of the regulatory circulatory systems in middle-aged and elderly patients.

Material and methods. Two groups of patients undergoing respiratory rehabilitation were examined, middle-aged (45-59 years old) and elderly (60-74 years old) according to the WHO classification. The study of the physical condition was carried out according to the traditional method. Additionally, a spiroarteriocardiorhythmography (SACR) study was performed at rest and when performing a test with physical activity.

Results. The advantages of assessing the regulatory circulatory systems in terms of the randomness of the variability of circulatory parameters compared with the traditional approach are shown.

Conclusion. The article demonstrates the advantages of using approximate entropy in comparison with the traditional approach. The differences between the time series of the RR, systole-systole and diastole-diastole intervals were revealed when performing the test with stepwise increasing physical activity in the groups of middle-aged and elderly patients. It also describes the distinctive features of the behavior of the approximate entropy indicator in middle-aged patients compared with elderly patients in the recovery period after a physical exercise test.

Keywords: resilience, old age, physical activity, physical rehabilitation

Введение. Согласно концепции ВОЗ понятие индивидуальной жизнеспособности, находящейся в основе здорового старения, обозначает совокупность всех физических и умственных способностей человека, их роль при взаимодействии с окружающей средой, определяющие функциональные возможности человека, что является ключевым фактором здорового старения. Индивидуальную жизнеспособность оценивают по нескольким доменам: когнитивному (состояние восприятия, самоконтроля, самостоятельного принятия решений, усвоение новых навыков и др.), двигательному (равновесие, походка, наличие/отсутствие саркопении), психологическому (установки на «успешное» старение, фон настроения), сенсорному (зрение, слух, обоняние, осязание), телесному (возраст-ассоциированная патология, мультиморбидность, полипрагмазия, гормональный фон и др.) [1].

Несмотря на высокий интерес к этому вопросу, на сегодняшний день не существует единого представления о физическом аспекте возрастной жизнеспособности, а также о ее изменчивости в различные возрастные периоды.

В ряде научных публикаций показано, что временная структура физиологического сигнала, определяемая особенностями его амплитудного и ритмологического профиля, полученная в покое или при дозированном физическом внешнем воздействии, достаточно полно отражает деятельность механизмов саморегуляции и адаптации организма к окружающей среде, информацию о работоспособности функциональных систем организма, что, по мнению исследователей, служит объективным показателем физического аспекта жизнеспособности организма человека [2]

Эффективность работы функциональных систем организма, среди которых одной из важнейших является система кровообращения, определяется во многом особенностями их регуляции. Ведущую роль в регуляции работы функциональных систем в организме человека играет нейроэндокринная система, реактивность которой может быть оценена путем сравнения показателей variability ритмов разных отделов системы кровообращения, в частности, ритмов сердечных сокращений и пульса. Используемая методология базируется на общепризнанных принципах донозологической диагностики по изменчивости нейровегетативной регуляции, которая предопределяет структурные нарушения в органах [3]. А также согласуется с современными представлениями о решении проблемы мониторинга жизнеспособности пациентов в разных доменах, в том числе по функционированию

вегетативной нервной системы, и особенно, по показателям вариабельности сердечного ритма (BCP) [4]. Исследование пожилых женщин выявили положительную связь между показателями BCP и снижением жизнеспособности. Со снижением аппроксимированной энтропии (ApEn, SampEn) [5,6] и показателей временного и частотного анализа (SDNN, VLF, LF и LF/HF) [7] связывают риск развития старческой астении. Причем ApEn позволяет увидеть уровень упорядоченности временных серий исследуемых интервалов, таким образом, получить точную оценку хаотичности работы системы кровообращения, а не просто анализ частот для сердечных сокращений или пульса. Данный параметр более чувствителен к изменениям вариабельности интервалов, а потому может показать более точную оценку динамики изменений, что уже продемонстрировано в более ранних публикациях [8].

Цель исследования в совершенствовании диагностики физического аспекта возрастной жизнеспособности по особенностям регуляторных систем кровообращения у пациентов среднего и пожилого возраста

Материал и методы исследования. Для проведения настоящего исследования были отобраны пациенты пульмонологического профиля в фазе ремиссии, проходящие реабилитацию в пульмонологическом отделении клиники Научно-исследовательского института ревматологии и алергологии научно-клинического исследовательского центра ПСПбГМУ им акад. И.П. Павлова и составивших две возрастные группы пациентов: среднего (45-59 лет) и пожилого (60-74 лет) возраста в соответствии с рекомендациями ВОЗ. Всем пациентам при поступлении в клинику проводили физикальное обследование рутинной методикой, а в процессе лечения – детальный клинико-лабораторный мониторинг методами диагностики сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Диагностика формы и тяжести заболевания осуществлялась согласно Международным согласительным документам. Кардиологические инструментальные исследования в нашей работе были проведены и обработаны в соответствии с действующими Национальными стандартами регистрации, обработки и интерпретации результатов в действующей редакции.

Пациенты, которые в течение не менее 3 месяцев до дня данного обследования не принимали противомикробные препараты, были распределены по двум группам: среднего возраста (СВ) - 10 человек (6 муж., 4 жен.), средний возраст $56 \pm 3,5$ лет, 2 группа – 10 человек (4 муж., 6 жен.), средний возраст $68 \pm 1,8$ лет. Существенных различий по характеру лечения, номенклатуре и частоте применения фармакотерапевтических препаратов у участников обеих

групп не было. От всех участников перед началом обследования было получено добровольное информированное согласие, утвержденное локальным этическим комитетом.

В исследовании использовали метод спироартериокардиографии, позволяющий охарактеризовать функциональную активность кровообращения. Для проведения исследования использовали приборно-аппаратный комплекс «Кардиотехника-САКР» (НАО Инкарт, Санкт-Петербург) адаптированный к велоэргометру [9].

Согласно методике, описанной ранее [10], анализируются записи исследования, проведенного в утренние часы после 15-минутного отдыха. В день исследования пациенты не должны в течение 6 ч курить или принимать какие-либо лекарственные препараты. Каждому испытуемому в течение пяти минут проводится регистрация в положении сидя в состоянии покоя, и в том же положении при выполнении нагрузочной пробы на велоэргометре согласно RAMP-протоколу, предполагающем приращение нагрузки с малым шагом (5 Вт) через небольшой промежуток времени (1 мин) без достижения «устойчивого состояния» [11]. Поскольку задачей исследования было определение показателей колебательных процессов вегетативной регуляции, наступающих уже при минимизированных внешних воздействиях, мы ограничились продолжительностью нагрузочного периода в пределах 5 минут и лимитированной мощностью 60 Вт, что соответствует 3–4 МЕТ, то есть – уровню легкой физической нагрузки [12].

После непрерывной, одновременной регистрации электрокардиограммы в стандартных отведениях и пальцевой сфигмофотоплетизмографии, в автоматическом режиме аппаратным программным обеспечением выполняли расстановку меток R-пиков, систолических и диастолических пиков. После этого получали ритмограммы, анализ которых осуществляли с помощью пакетов программ среды MATLAB. Используя полученные метки, рассчитывали длину интервала путем вычитания из последующей временной метки предыдущую. Чтобы исключить влияние шумов проверялось соответствие количества меток каждого интервала, также проводилась оценка степени их взаимосвязи путем расчета коэффициента корреляции. Для корректирования выбросов был выбран метод z-score с построением z-шкалы по отклонениям каждого значения в ряде от среднего. После получения значения z-шкалы происходило удаление выбросов для тех значений, что превосходили отклонение в более чем три СКО. Показатель аппроксимированной энтропии, позволяющий узнать динамические свойства variability сердечного ритма, а именно его хаотичность, рассчитывался и оценивался для трех интервалов: RR-интервалы (RR), систола-систола интервалы

(SS), диастола-диастола интервалы (DD). Сначала для расчета параметра $ApEn$ выполнили подбор анализируемой длины последовательности (m) и размер окружности в фазовом пространстве. После формируются последовательности с заданной длиной, которые можно представить в виде точек, которые с определенной вероятностью попадают в окружность в фазовом пространстве. Для оценки вероятности того, что точка окажется в пределах окружности рассчитывается логарифмическая вероятность, которая суммирует частоту попаданий интервалов заданной длины в окружность. Итоговое значение аппроксимированной энтропии определяется приращением логарифмической вероятности при переходе от длины цепочки равной m к длине $m + 1$. Увеличение длины цепочки повышает вероятность попаданий редких событий в оценку, а следовательно и уменьшать значение $ApEn$. Максимальное значение параметр будет принимать при $m = 1$. В данной работе итоговое значение $ApEn$ принималось при $m=2$ [13].

Для статистической обработки используем методы параметрической статистики (математическое ожидание, стандартное отклонение) для выборок, согласующихся с нормальным законом распределения. Для автоматизации расчетов использовались пакеты программ Ms Excel, Statistica, Past 3.01.

Результаты и обсуждение. Результаты, полученные при исследовании пациентов групп среднего и пожилого возраста в состоянии покоя, представлены в таблице 1.

Проанализирована динамика (таблица 1) временных рядов периодов сердечных сокращений (RR), систолического артериального давления (SS) и диастолического артериального давления (DD). Обращает внимание отсутствие статистически значимых различий между усредненными значениями периодов RR, SS, DD как для группы пациентов среднего возраста (0.77 ± 0.12 с для всех показателей, $p=0,98$), так и для пациентов пожилого возраста (0.85 ± 0.08 с для всех показателей, $p=0,98$). Это согласуется с представлениями о том, что по пульсовым волнам можно объективно оценивать частотно-временные характеристики сердечных сокращений. В связи с этим, можно сделать вывод, что полученные нами данные не противоречат данным других исследований [14] и распределение периодов физиологической вариабельности сердечных сокращений в определённой степени равны распределению периодов пульсовых волн и их основных характеристик систолического и диастолического давлений. Хотя факт отсутствия статистически достоверных различий между группами СВ и ПВ ($p=0,15$ для всех показателей) говорит о функциональной природе различий вариабельности периодов RR, SS, DD.

Таблица 1

Сравнение показателей кровообращения в группах пациентов среднего возраста (СВ) и пожилых пациентов (ПВ) в состоянии покоя

П О К З А Т Е Л Ь	Г Р У П А	Функциональные показатели кровообращения и показатели вариабельности сердечного ритма и ритма артериального давления					
		RR, с	SS, с	DD, с	P-значение		
		1	2	3	1-2	1-3	2-3
Time	СВ	0.77±0.12	0.77±0.12	0.77±0.12	0,98	0,98	0,98
	ПВ	0.85±0.08	0.85±0.08	0.85±0.08	0,96	0,96	0,96
P-значение		0.15	0.15	0.15			
ApEn	СВ	0.86±0.13	0.9±0.12	0.94±0.08	0,44	0,12	0,24
	ПВ	0.91±0.1	0.93±0.09	0.92±0.08	0,87	1	0,87
P-значение		0.33	0.51	0.64			

Примечание: M±SD – для выборок, согласующихся с нормальным законом распределения. U – критерий Манна-Уитни. t – критерий Стьюдента.

С другой стороны, мы проанализировали значение ApEn, которое является мерой сложности сигнала, чем меньше значение параметра, тем более регулярен сигнал. Таким образом, значения близкие к нулю характерны для регулярных и предсказуемых в своем поведении сигналов. Параметр ApEn не имеет четких уровней колебаний значений и зависит от используемых данных. Опираясь на исследования [15,16] можно сделать вывод, что значения параметра (при m=2, используемом в данной работе) находится в интервале от [0.5 до 1.5]. В нашем исследовании мы получили схожие значения.

При анализе значений ApEn ритмограмм интервалов RR, SS, DD наблюдали различия как в группе СВ (0,86±0,13; 0,9±0,12; 0,94±0,08 соответственно), так и в группе ПВ (0,91±0,1; 0,93±0,09; 0,92±0,08 соответственно), однако, статистически значимых различий не было выявлено (таблица 1).

На другом этапе исследовали показатели кровообращения во время проведения пробы с физической нагрузкой, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение показателей кровообращения в группе пациентов среднего возраста (СВ) и пожилых пациентов (ПВ) при ступенчато возрастающей физической нагрузке

П О К З А Т Е Л Ь	Г Р У П А	Функциональные показатели кровообращения и показатели вариабельности сердечного ритма и ритма артериального давления					
		RR, с	SS, с	DD, с	P-значение		
		1	2	3	1-2	1-3	2-3
Time	СВ	0.51±0.03	0.51±0.03	0.51±0.03	0.95	0.95	0.95
	ПВ	0.59±0.09	0.59±0.09	0.59±0.09	0.96	0.96	0.96
P-значение		0.09	0.09	0.09			
ArEn	СВ	0.21±0.07	0.42±0.14	0.7±0.2	0,01	0,002	0,02
	ПВ	0.5±0.27	0.84±0.22	1.08±0.19	0,02	0,002	0,02
P-значение		0.01	0.005	0.01			

Согласно приведенным значениям показателей кровообращения (таблица 2) при пробе со ступенчато возрастающей физической нагрузкой обращает на себя внимание отсутствие различий после усреднения временных рядов интервалов RR, SS, DD в группах СВ и ПВ. Они составили $0,51\pm 0,03$ с и $0,59\pm 0,09$ с ($p=0,95$ и $p=0,96$ соответственно). При межгрупповом сравнении (СВ и ПВ) мы не обнаружили статистически значимых различий ($p=0,09$ для всех трех временных рядов). В другой части мы проанализировали динамику показателя ArEn для временных рядов RR, SS, DD (таблица 2). Она характеризовалась наличием статистически достоверных различий как между значениями временных рядов, так и межгрупповыми отличиям. Значения ArEn в группе СВ статистически достоверно отличались для всех временных рядов интервалов RR, SS, DD ($0,21\pm 0,07$; $0,42\pm 0,14$; $0,7\pm 0,2$ соответственно). Так наиболее выражено значения ArEn отличались для временных рядов интервалов RR и DD ($0,21\pm 0,07$; $0,7\pm 0,2$ соответственно, $p=0,002$). Что, вероятно, объясняется снижением ВСР при физической нагрузке, вместе со снижением ударного объема [17]. Различия между значениями ArEn для временных рядов RR и SS ($0,21\pm 0,07$; $0,42\pm 0,14$ $p=0,01$), SS и DD ($0,42\pm 0,14$ и $0,7\pm 0,2$ $p=0,02$) более умеренные и связаны, видимо, с большей зависимостью ритма пульса от сердечного ритма. В группе ПВ для значений ArEn наблюдали аналогичную картину различия временных рядов для всех трех интервалов, среди которых DD был более выраженным. При этом, в группе ПВ наблюдали умеренные отличия значений ArEn для временных рядов

интервалов RR и SS (0.5 ± 0.27 и 0.84 ± 0.22 , $p=0.02$ соответственно), SS и DD (0.84 ± 0.22 и 1.08 ± 0.19 $p=0.02$ соответственно), что согласуется с данными, полученными для группы СВ. А отличия DD показали большую статистическую значимость для пары RR и DD (0.5 ± 0.27 и 1.08 ± 0.19 , $p=0.002$ соответственно). При этом, следует отметить, что общий уровень значений АрЕп в группе ПВ при физической нагрузке был выше, чем уровень в группе СВ для временных рядов RR (0.21 ± 0.07 и $0,5 \pm 0,27$, $p=0,01$), SS (0.42 ± 0.14 и 0.84 ± 0.22 , $p=0.005$) и DD (0.7 ± 0.2 и 1.08 ± 0.19 , $p=0,01$). При отсутствии различий между усредненными значениями времени периодов, наличие межгрупповых различий может говорить, о большей энтропии вследствие снижения скорости включения регуляторных факторов. Графически полученные результаты представлены на рисунке 1.

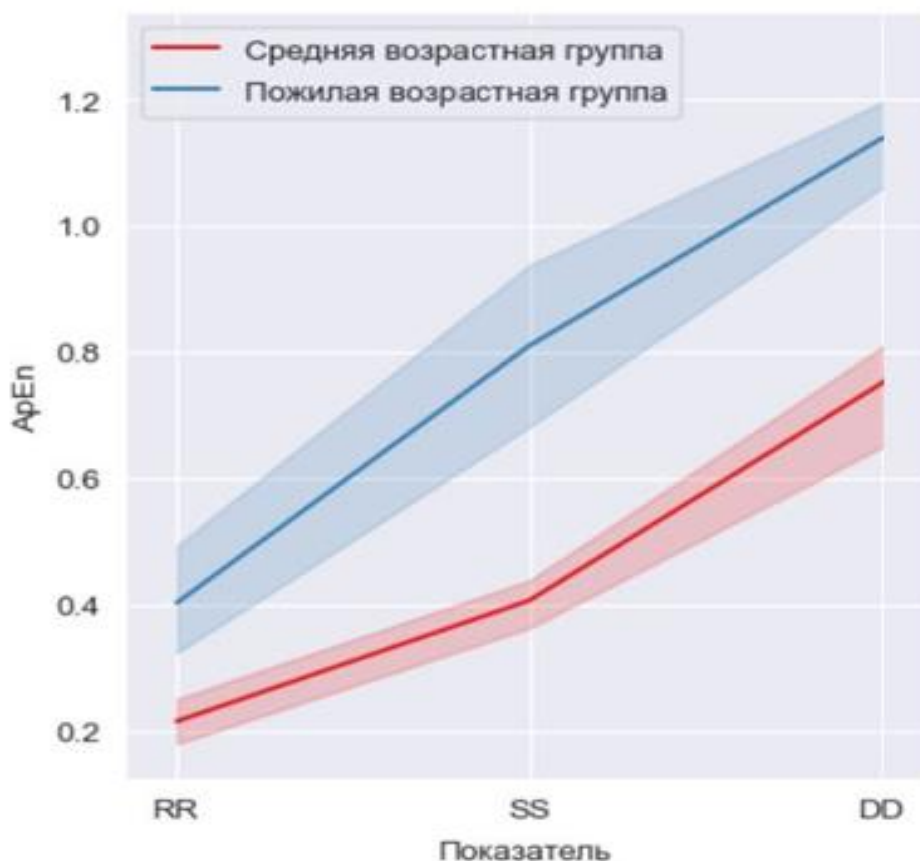


Рисунок 1. Сравнение параметра АрЕп для периодов RR, SS, DD в группах СВ и ПВ при ступенчато возрастающей физической нагрузке (объяснение в тексте)

Графическое изображение наглядно демонстрирует (рисунок 1), что расчет АрЕп представляет больше информации о возраст зависимой изменчивости регуляции кровообращения, чем обычная практика усреднения значений интервалов сердечных сокращений и участков пульсовой волны, полученные нами при анализе показателей ритма

кровообращения в процессе выполнения пробы с физической нагрузкой. Разобшение variability интервалов RR и SS в одном на одной и той же ступени возрастающей физической нагрузки открывает возможности для понимания срочных регуляторных механизмов адаптации системы кровообращения. Причем, как мы видим, такие механизмы являются возраст зависимыми, так как показатель АрЕп для всех проанализированных пар статистически значимо отличается.

Для периода восстановления динамика ритмических показателей кровообращения приведена в таблице 3.

Таблица 3

Сравнение показателей кровообращения в группе пациентов среднего возраста (СВ) и пожилых пациентов (ПВ) в период восстановления после физической нагрузки

П О К З А Т Е Л Ь	Г Р У П П А	Функциональные показатели кровообращения и показатели variability сердечного ритма и ритма артериального давления					
		RR, с	SS, с	DD, с	P-значение		
		1	2	3	1-2	1-3	2-3
Time	СВ	0,65±0,06	0,65±0,06	0,65±0,06	0,96	0,96	0,96
	ПВ	0,7±0,1	0,7±0,1	0,7±0,1	0,95	0,95	0,95
P-значение		0,32	0,32	0,32			
АрЕп	СВ	0,43±0,2	0,54±0,23	0,75±0,23	0,25	0,009	0,04
	ПВ	0,58±0,34	0,69±0,35	0,77±0,23	0,65	0,2	0,52
P-значение		0,41	0,29	0,82			

Согласно представленным данным показатель времени, также как и на предыдущих этапах исследования сохранял свои значения для периодов всех трех показателей RR, SS, DD как в средневозрастной группе (0,65±0,06), так и в группе пожилых пациентов (0,7±0,1). При этом, статистически значимых различий при по парном сравнении интервалов в группах СВ (p=0,96) и ПВ (z=0,95) не было выявлено. Несколько иную картину мы наблюдали при анализе показателя АрЕп для аналогичных периодов. Сохранялась выявленная на предыдущих этапах исследования закономерность распределения значений АрЕп – максимальное для интервалов DD и минимальное для интервалов RR и отличались тем, что статистически значимые различиями в группе СВ (табл. 3 наиболее выражено отличалось для интервалов RR и DD (0,43±0,2; 0,75±0,23 соответственно, p=0.009) и умеренно для интервалов SS и DD (0,54±0,23;

0,75±0,23 соответственно, $p=0.04$). В группе ПВ статистически значимых отличий для значений $ApEn$ для интервалов RR, SS, DD обнаружено не было. Это говорит об имеющейся возрастной дифференциации на этапе восстановления после физической нагрузки, но требующей дальнейшего уточнения, в связи с тем, что статистически значимых отличий $ApEn$ для периодов RR, SS, DD между группами СВ и ПВ обнаружено не было (таблица 3).

Заключение. В статье наглядно продемонстрированы преимущества использования аппроксимированной энтропии по сравнению с традиционным подходом. Выявлены различия между временными рядами интервалов RR, систола-систола и диастола-диастола при выполнении пробы со ступенчато возрастающей физической нагрузкой в группах пациентов среднего и пожилого возраста. А также описаны отличительные особенности поведения показателя аппроксимированной энтропии у пациентов среднего возраста по сравнению с пациентами пожилого возраста в восстановительном периоде после пробы с физической нагрузкой.

Список литературы

1. World Health O. World Report on Ageing and Health. Geneva: World Health Organization, 2015
2. Николаева Е.И., Ельникова О.Е., Меренкова В.С. и др. Психофизиологические основы жизнеспособности человека в онтогенезе. Жизнеспособность человека: индивидуальные, профессиональные и социальные аспекты. М.: «Институт психологии РАН», 2016: 394–408
3. Казначеев В. П., Баевский Р. М., Берсенева А. П. Донозологическая диагностика в практике массовых обследований населения. Ленинград: «Медицина», 1980: 208 с.
4. Bautmans I, Knoop V, Amuthavalli Thiyagarajan J. et al. WHO working definition of vitality capacity for healthy longevity monitoring. *Lancet Healthy Longev.* 2022;3(11):e789-e796
5. Chaves PH, Varadhan R, Lipsitz LA, et al. Physiological complexity underlying heart rate dynamics and frailty status in community-dwelling older women. *J Am Geriatr Soc.* 2008;56(9):1698-703
6. Katayama P.L., Dias D.P., Silva L.E. et al. Cardiac autonomic modulation in non-frail, pre-frail and frail elderly women: a pilot study. *Aging Clin Exp Res.* 2015;27(5):621-9
7. Varadhan R, Chaves PH, Lipsitz LA, et al. Frailty and impaired cardiac autonomic control: new insights from principal components aggregation of traditional heart rate variability indices. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2009;64(6):682-7

8. Рубинский А. В., Марченко В. Н., Калиниченко А. Н., и др. К вопросу об объективизации оценки жизнеспособности пациентов пожилого возраста по показателям вегетативной регуляции. *Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики.* 2022;4:144-159
9. Тихоненко В. М., Пивоваров В. В., Рубинский А. В., и др. Перспективы велоэргометрии с измерением артериального давления на каждом сердечном сокращении. *Медицинский алфавит.* 2022;33:8-12
10. Рубинский А. В., Калиниченко А. Н., Зарудский А. А. и др. Оценка физического аспекта жизнеспособности у пожилых пациентов с помощью показателей толерантности к физической нагрузке. *Врач.* 2022;33;9:62-66
11. Функциональная диагностика: национальное руководство. под ред. Н. Ф. Берестень, В. А. Сандрикова, С. И. Федоровой. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2019. 784 с.
12. Шубик Ю. В., Пивоваров В. В., Зайцев Г. К. и др. Измерение артериального давления на каждом ударе сердца при фибрилляции предсердий: новый шаг к персонализации лечения пациента. *Вестник аритмологии.* 2021;28(1):23-32
13. Garber C.E., Blissmer B., Deschenes M.R. et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(7):1334-1359
14. Антипов Н.О. Анализ вариабельности сердечного ритма у пациентов с легочными заболеваниями методами нелинейной динамики. *Биотехносфера.* 2022;1(67):44-48
15. Димитриев Д.А., Саперова Е.В., Димитриев А.Д. и др. Использование нелинейных параметров вариабельности сердечного ритма для выявления стресса. *Журнал медико-биологических исследований.* 2021;9(3):265-274
16. Гончар И. А., Нечипуренко Н.И., Фролов А.В. и др. Энтропия сердечного ритма – предиктор функционального исхода парциального инфаркта мозга в бассейне сонных артерий у пациентов с фибрилляцией предсердий. *Медицинские новости.* 2015;1(244):41-46
17. Устинова Н. А., Савкин А. Л., Айрапетов К. В. и др. Особенности гемодинамики у пациентов зрелого и пожилого возраста с саркопенией. *Вестник Смоленской государственной медицинской академии.* 2022;21(1):93-100

References

1. World Health O. World Report on Ageing and Health. Geneva: World Health Organization, 2015
2. Nikolaeva E.I., El'nikova O.E., Merenkova V.S. et al. Psihofiziologicheskie osnovy zhiznesposobnosti cheloveka v ontogeneze [Psychophysiological foundations of human viability in ontogenesis] v knige [In the book]: Makhnach A.V. ed. Zhiznesposobnost' cheloveka: individual'nye, professional'nye i social'nye aspekty [Human viability: Individual, Professional and Social aspects]. Moscow: Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences. 2016:394-408 (InRussian)
3. Kaznacheev V.P., Baevskij R.M., Berseneva V.P. Donozologicheskaja diagnostika v praktike massovyhobsledovanij naselenija [Prenosological diagnostics in the practice of mass population surveys].L: Medicina,1980:208s (InRussian)
4. Bautmans I., Knoop V., Amuthavalli Thiagarajan J., et al. WHO working definition of vitality capacity for healthy longevity monitoring. Lancet Healthy Longev. 2022;3(11):e789-e796
5. Chaves P.H., Varadhan R., Lipsitz L.A. et al. Physiological complexity underlying heart rate dynamics and frailty status in community-dwelling older women. J Am Geriatr Soc. 2008;56(9):1698-703
6. Katayama P.L., Dias D.P., Silva L.E. et al. Cardiac autonomic modulation in non-frail, pre-frail and frail elderly women: a pilot study. Aging Clin Exp Res. 2015;27(5):621-9
7. Varadhan R., Chaves P.H., Lipsitz L.A. et al. Frailty and impaired cardiac autonomic control: new insights from principal components aggregation of traditional heart rate variability indices. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 2009;64(6):682-7
8. Rubinskiy A.V., Marchenko V. N., Kalinichenko A. N. et al. K voprosu ob ob"ektivizatsii otsenki zhiznesposobnosti patsientov pozhilogo vozrasta po pokazatelyam vegetativnoj regulyatsii [Objective assessment of viability by indicators of vegetative regulation in elderly patients with pulmonological pathology]. Sovremennye problemy zdravookhraneniya i meditsinskoj statistiki [Current problems of health care and medical statistics]. 2022; 4:144-159 (InRussian)
9. Tihonenko V.M., Pivovarov V.V., Rubinskiy A.V. et al. Perspektivy veloehrgometrii s izmereniam arterial'nogo davleniya na kazhdom serdechnom sokrashhenii [Outlook for ergometer testing with beat to beat blood pressure measurement]. Meditsinskij alfavit [Medical alphabet]. 2022;(33):8–12 (InRussian)
10. Rubinsky A., Kalinichenko A., ZarudskyA.et al. Otsenka fizicheskogo aspekta zhiznesposobnosti u pozhilykh patsientov s pomoshh'yu pokazatelej tolerantnosti k fizicheskoy

nagruzke [Assessment of the physical aspect of resilience in elderly patients using the indicators of exercise tolerance]. Vrach [Doctor]. 2022;33(9):62–66 (InRussian)

11. Beresten' N.F., Sandrikov V.A., Fedorova S.I. Funkcional'naya diagnostika: nacional'noe rukovodstvo [Functional diagnostics: national guidelines]. Moscow: GEOTAR-Media, 2019 (InRussian)

12. Shubik YV, Pivovarov VV, Zaytsev GK et al. Izmerenie arterial'nogo davleniya na kazhdom udare serdtsa pri fibrillyatsii predserdij: novyj shag k personalizatsii lecheniya patsienta [Beat-to-beat blood pressure measurement in patients with atrial fibrillation: a step towards personalized management]. Vestnik aritmologii [Journal of Arrhythmology]. 2021;28(1): 23-32 (InRussian)

13. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. Med Sci Sports Exerc. 2011; 43(7): 1334-1359

14. Antipov N.O. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma u patsientov s legochnymi zabolevaniyami metodami nelinejnoj dinamiki [Analysis of heart rate variability in patients with pulmonary diseases by methods of nonlinear dynamics]. Biotechnosfera [Biotechnosfera]. 2022;1(67):44-48 (InRussian)

15. Dimitriev D.A., Saperova E.V., Dimitriev A.D. et al. Ispol'zovanie nelinejnykh parametrov variabel'nosti serdechnogo ritma dlya vyyavleniya stressa [The use of nonlinear parameters of heart rate variability for stress detection]. ZHurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy [Journal of medical and biological research]. 2021;9(3):265–274 (InRussian)

16. Gontschar I.A., Nechipurenko N.I., Frolov A.V. et al. Entropiya serdechnogo ritma-prediktor funktsional'nogo iskhoda partsial'nogo infarkta mozga v bassejne sonnykh arterij u patsientov s fibrillyatsiej predserdij [Entropy of heart rate - a predictor of the functional outcome of the partial anterior carotid stroke in atrial fibrillation]. Meditsinskie novosti [Medical news]. 2015;1(244):41-46 (InRussian)

17. Ustinova N.A., Savkin A.L., Airapetov K.V. et al. Osobennosti gemodinamiki u patsientov zrelogo i pozhilogo vozrasta s sarkopenie [Hemodynamics peculiarities of middle-aged and elderly patients with sarcopenia]. Vestnik Smolenskoj gosudarstvennoj meditsinskoj akademii [Vestnik of the smolensk state medical academy]. 2022;21(1):93-100 (InRussian)

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Acknowledgments. The study did not have sponsorship.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Сведения об авторах

Рубинский Артемий Владимирович - кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры медицинской реабилитации и адаптивной физической культуры, ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8; старший научный сотрудник лаборатории возрастной патологии сердечно-сосудистой системы, АННО ВО НИЦ «Санкт-Петербургский институт биорегуляции и геронтологии», 197110, Санкт-Петербург, пр. Динамо, 3, e-mail: rubinskiyav@1spbgmu.ru, ORCID: 0000-0003-1041-8745; SPIN-cod: 3020-0781

Антипов Никита Олегович, аспирант кафедры биотехнических систем, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», 197022, Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5, литера Ф, e-mail: jobber1994@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9848-5146

Рябкова Варвара Александровна, врач-ординатор клиники НИИ РиА, ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8; младший научный сотрудник лаборатории мозаики аутоиммунитета, кафедра патологии медицинского факультета, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», 199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9, E-mail: varvara-ryabkova@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6973-9901; SPIN-cod: 8991-9240

Исманова Виктория Джахонбековна - аспирант по научной специальности 3.1.31. Геронтология и гериатрия, Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, 125371, Москва, Волоколамское шоссе, 91, e-mail: ismanova_vika@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7474-8212; SPIN-код: 8050-6835

Калиниченко Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры биотехнических систем, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», 197022, Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5, литера Ф, e-mail: ank-bs@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8946-2831; SPIN-код: 6810-4648

Марченко Валерий Николаевич - доктор медицинских наук, профессор, Заслуженный врач Республики Северная Осетия – Алания, профессор кафедры терапии госпитальной с курсом аллергологии и иммунологии им. акад. М.В.Черноруцкого, ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8, e-mail: marchvn@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2440-7222; SPIN-cod: 1711-4150

Information about authors

Rubinskiy Artemy Vladimirovich - Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Medical Rehabilitation and Adaptive Physical Culture, Pavlov University, 6-8, L'va Tolstogo str., Saint Petersburg, 197022, Russia; Senior researcher at the Laboratory of Age-related Pathology of the cardiovascular system, St. Petersburg Institute of Bioregulation and Gerontology, pr. Dinamo 3, St.Petersburg, 197110, e-mail: rubinskiyav@1spbgmu.ru, ORCID: 0000-0003-1041-8745; SPIN-cod: 3020-0781

Antipov Nikita Olegovich - PhD student, department of biotechnical systems, Saint Petersburg Electrotechnical University, ul. Professora Popova 5, 197022 St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: jobber1994@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9848-5146

Ryabkova Varvara Aleksandrovna - resident doctor research Institute of Rheumatology and Allergology, Pavlov University, 6-8, L'va Tolstogo str., Saint Petersburg, 197022, Russia; junior researcher Laboratory of the Mosaic of Autoimmunity and Department of Pathology, Saint Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya Emb., St Petersburg 199034, Russia;, e-mail: varvara-ryabkova@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6973-9901; SPIN-cod: 8991-9240

Ismanova Viktoriya Dzhahonbekovna - Post-graduate Student in scientific specialty 3.1.31. Gerontology and geriatrics, Academy of postgraduate education under FSBU FSCC of FMBA of Russia, 125371, Moscow, Volokolamsk sh., 91, e-mail: ismanova_vika@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7474-8212; SPIN-код: 8050-6835

Kalinichenko Aleksandr Nikolaevich - Grand Ph. D., Professor, Professor in department of biotechnical systems, Saint Petersburg Electrotechnical University, ul. Professora Popova 5, 197022 St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: ank-bs@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8946-2831; SPIN-код: 6810-4648

Marchenko Valerii Nikolaevich - MD, PhD, Honored Doctor of the Republic of North Ossetia – Alania, Professor Department of Hospital Therapy, Pavlov University, 6-8, L'va Tolstogo str., Saint Petersburg, 197022, Russia, e-mail: marchvn@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2440-7222; SPIN-cod: 1711-4150

Статья получена: 25.12.2022 г.
Принята к публикации: 29.03.2023 г.