

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-1-21-34>



УДК 616.12.073.7

Кардиометрические исследования сердечно-сосудистой системы долгожителей

Н. Н. Чернов¹✉, М. Ю. Руденко¹

¹ Южный федеральный университет

ул. Шевченко, д. 2, Ростовская область, г. Таганрог 347922, Российская Федерация

✉ e-mail: nik-chernov@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. Одной из ключевых задач современного общества является продление человеческой жизни. Важно понимать признаки старения организма, особенно его сердечно-сосудистой системы. Это позволит определить наиболее эффективные критерии оценки возрастных изменений сердечно-сосудистой системы. Поэтому рассмотрение реальных данных о состоянии сердечно-сосудистой системы долгожителей с использованием кардиометрического анализа позволит сделать шаг на пути реального понимания продления активного долголетия.

Методы. Применялся кардиометрический метод анализа фаз сердечного цикла, основанный на математической модели гемодинамики Г. Поединцева – О. Вороновой, что позволило оценивать динамические характеристики работы сердечно-сосудистой системы и установить критерии поддержания нормальной гемодинамики. При использовании кардиометрии в изучении долгожителей было учтено их проживание в различных географических регионах, а также различные климатические условия этих мест.

Результаты. Разработаны аппаратно-программные средства для кардиометрического анализа структуры сердечного цикла. Исследовались люди в возрасте старше 90 лет по показателям, включающим метаболические и гемодинамические параметры. Установлен разбаланс гемодинамики большого и малого круга кровообращения. Основной причиной изменения параметров является неполное дыхание, влияющее на баланс кислорода и углекислого газа в крови. При этом фиксировалось снижение уровня креатинфосфата в мышцах миокарда, характеризующего энергетический потенциал сокращения мышц. Это взаимосвязано с изменениями состояния сердечно-сосудистой системы, которые наиболее отражаются в фазовой структуре сердечного цикла в систолических фазах R-S-L-J. Представлены реальные данные, полученные с помощью серийно выпускаемого гемодинамического анализатора.

Заключение. В работе описан кардиометрический способ и эффективные критерии оценки возрастных изменений сердечно-сосудистой системы.

Ключевые слова: кардиометрия; электрокардиограмма; реограмма; сердечно-сосудистая система; долгожители.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Чернов Н. Н., Руденко М. Ю. Кардиометрические исследования сердечно-сосудистой системы долгожителей // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2025. Т. 15, № 1. С. 21–34. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-1-21-34>

Поступила в редакцию 16.01.2025

Подписана в печать 15.02.2025

Опубликована 31.03.2025

© Чернов Н. Н., Руденко М. Ю., 2025

Cardiometric studies of the cardiovascular system of centenarians

Nikolay N. Chernov¹ ✉, Mikhail Y. Rudenko¹

¹ Southern Federal University

2 Shevchenko Str., Rostov region, Taganrog 347922, Russian Federation

✉ e-mail: nik-chernov@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. One of the key tasks of modern society is the prolongation of human life. It is important to understand the signs of aging of the body, especially its cardiovascular system. This will allow us to determine the most effective criteria for assessing age-related changes in the cardiovascular system. Therefore, consideration of real data on the state of the cardiovascular system of centenarians using cardiometric analysis will make it possible to take a step towards a real understanding of the prolongation of active longevity.

Methods. The cardiometric method of analyzing the phases of the cardiac cycle was used, based on the mathematical model of hemodynamics by G. Dueltsev – O. Voronova, which made it possible to evaluate the dynamic characteristics of the cardiovascular system and establish criteria for maintaining normal hemodynamics. When using cardiometry in the study of centenarians, their residence in different geographical regions, as well as the different climatic conditions of these places, were taken into account.

Results. Hardware and software tools for radiometric analysis of the structure of the cardiac cycle have been developed. The study examined people over the age of 90 according to indicators including metabolic and hemodynamic parameters. The imbalance of hemodynamics of the large and small circulatory circles has been established. The main reason for the change in parameters is incomplete breathing, which affects the balance of oxygen and carbon dioxide in the blood. At the same time, there was a decrease in the level of creatine phosphate in the myocardial muscles, which characterizes the energy potential of muscle contraction. This is related to changes in the state of the cardiovascular system, which are most reflected in the phase structure of the cardiac cycle in the systolic phases R-S-L-J. The real data obtained using a commercially available hemodynamic analyzer is presented.

Conclusion. The paper provides a method and effective criteria for assessing age-related changes in the cardiovascular system.

Keywords: cardiometry; electrocardiogram; rheogram; cardiovascular system; centenarians.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Chernov N.N., Rudenko M.Y. Cardiometric studies of the cardiovascular system of centenarians. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2025;15(1):21–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-1-21-34>

Received 16.01.2025

Accepted 15.02.2025

Published 31.03.2025

Введение

Наука о старении [1] изучает одну из наиболее важных проблему: почему одни люди живут дольше, чем другие. Исследование долголетия ведется на множестве уровней – от анализа социальных [2] и экономических условий жизни [3] до глубокого изучения

физиологических процессов, происходящих на клеточном уровне [4]. Однако, несмотря на значительные успехи, причины феномена долголетия остаются во многом неясными. Одна из основных причин – отсутствие универсальных и объективных критериев оценки здоровья, способных точно отличить здоровое

старение от патологического [6]. Стандартные медицинские показатели часто фиксируют лишь уже развившиеся заболевания, не отражая истинный потенциал организма и его резервные возможности [7]. Это подобно тому, как пытаться оценить работоспособность устройства по наличию трещин в корпусе, игнорируя его мощность и эффективность. Именно кардиометрия – метод, предлагающий комбинацию дифференциального и в то же время комплексного подхода к оценке состояния биологического объекта [8]. В отличие от многих других методов кардиометрия позволяет четко различать нормы и отклонения от них в работе сердечно-сосудистой системы, которая играет ключевую роль в обеспечении жизнедеятельности всего организма. Её показатели, такие как вариабельность сердечного ритма (ВСР), отражают адаптационные возможности организма, его способность реагировать на стресс и восстанавливаться [9]. Высокая ВСР, например, свидетельствует о хорошей адаптивности и резервах организма, в то время как низкая может свидетельствовать о снижении функциональных возможностей и предрасположенности индивида к заболеваниям. Исследования долгожителей с использованием кардиометрии открывают новые перспективы в понимании феномена долголетия [10]. Применение этого метода позволяет обнаружить характерные особенности работы сердечно-сосудистой системы у людей, достигших преклонного возраста, сохраняя при этом высокое качество жизни и активность. Анализ данных ВСР позволяет не только выявить наличие патологий, но и оценить функциональные

резервы организма, его способность противостоять старению на клеточном уровне. Помимо ВСР, современная кардиометрия включает в себя и другие инновационные методы, такие как анализ спектральной мощности сердечного ритма, позволяющий разделить ВСР на отдельные частотные компоненты, отражающие различные физиологические процессы [11]. Изучение частотных компонент предоставляет исследователю возможность получения более детального представления о состоянии вегетативной нервной системы, играющей важную роль в регуляции всех функций организма, включая иммунитет и процессы восстановления. Однако исследования в этой области все еще находятся на стадии развития [12]. Для получения убедительных выводов необходимо проведение масштабных, многоцентровых исследований с участием больших групп долгожителей и контрольных групп. Только тщательный анализ полученных данных позволит определить, являются ли обнаруженные особенности кардиометрических показателей у долгожителей причиной долголетия или же следствием других факторов, например генетической предрасположенности, образа жизни или влияния окружающей среды [13]. Тем не менее кардиометрия позволяет перейти от констатации патологий к глубокому пониманию функциональных возможностей организма и факторов, способствующих здоровому долголетию [14]. Поэтому научно-технической задачей данной работы является выявление на основе кардиометрического подхода параметров трансформаций сердечно-сосудистой системы у людей, достигших долголетия.

Материалы и методы

Исходные данные исследования включали следующие аспекты. Кардиометрия сердечно-сосудистой системы проводилась у пациентов возрастом от 85 до 100 лет. Часть из них проживала в горных районах на высоте более 1200 метров над уровнем моря, а другая — на равнинных территориях юга России [15]. В результате кардиометрических исследований были исследованы следующие показатели сердечно-сосудистой системы [16]:

1. Метаболические процессы в мышцах сердца: лактат, креатинфосфат (КрФ) и кислород (в условных единицах).

2. Гемодинамика: процент ударного объёма SV от диастолического объёма

ранней диастолы PV1 и показатель RV1 (%):

– PV1 – объём крови, притекающий в желудочек сердца в раннюю диастолу (мл);

– PV2 – объём крови, притекающий в желудочек сердца во время систолы предсердия (мл);

– PV5 – насосная функция аорты (мл).

Системный показатель: индекс напряжённости по Р. М. Баевскому.

Измерение всех параметров проводилось по ортостатической пробе [16], результаты исследований представлены в таблице 1. В работе приведены кардиометрические записи электрокардиограмм и реограмм восьми обследованных пациентов долгожителей с характерными показателями состояния сердечно-сосудистой системы.

Таблица 1. Данные метаболизма, гемодинамики и системных показателей долгожителей

Table 1. Data on metabolism, hemodynamics and systemic indicators of centenarians

№	Ф.И.О. Страна	Год рожд.	Метаболические, гемодинамические и системные показатели								
			Лактат (3-7)	O ₂ (0,5-0,55; 0,6-0,65; 0,7-0,85)	КрФ	RV1 (60%)	PV1	PV2	PV5	ИН (150- 300)	
1	X1 Коста-Рика	1925	39,6 20,13	0,16 0,13	0,36 2,27			+4% +28%	+13%		Лёжа Сидя
2	X2 Коста-Рика	1915	12,68	0,07	1,81			+9%			Лёжа
3	X3 Коста-Рика	1926	7,21 5,85 6,07	0,28 0,37 0,38	1,99 2,59 3,09		-24% -90% -76%	+4% +5%			Лёжа Сидя Стоя
4	X4 Коста-Рика	1919	10,61 6,09	0,07 0,15	1,05 0,75	58,24 54,20				22 18	Лёжа Сидя
5	X5 Коста-Рика	1923	5,44 3,45 5,42	0,52 0,58 0,55	6,50 6,42 5,05	48,97 49,64 45,02				213 371 273	Лёжа Сидя Стоя
6	X6 Россия	1928	7,80 4,50	0,05 0,04	1,82 2,81	71,59 70,24			+1%	728 247	Лёжа Сидя
7	X7 Россия	1924	1,79 1,98	0,77 0,77	4,03 3,02	45,35 45,32				829 1074	Лёжа Сидя
8	X8 Россия	1926	22,14 30,32	0,43 0,44	2,39 3,95	70,63 70,56				239 935	Лёжа Сидя

Результаты и их обсуждение

В классической кардиологии отсутствует сравнительный анализ возрастных изменений, характерных для здорового сердца. Применяемые методы кардиометрии позволяют выявить новую, ранее не изученную динамику трансформаций сердечно-сосудистой системы с течением времени (табл. 1).

Рассмотрим кардиометрические записи электрокардиограмм (ЭКГ) и

реограмм (РГ) обследованных пациентов с характерными показателями состояния сердечно-сосудистой системы, которые послужили основой для получения данных о метаболизме, гемодинамике и системных показателях долгожителей.

На рисунке 1 представлены фрагменты электрокардиограммы и реограммы пациента X1 (1925 г. рождения), полученные в положении лёжа.



Рис. 1. ЭКГ и РГ, пациент X1(1925 г. рождения), полученные в положении лёжа

Fig. 1. ECG and RG, patient X1 (born in 1925), received in the supine position

Диагноз: значительно снижен коронарный кровоток, малое количество кислорода.

Следствие: удлинённая фаза Р – Q, межжелудочковая перегородка (МЖП) очень слабая. Нагрузка на систолу

предсердия (PV2). Нагрузка на аорту (PV5). Высокий лактат.

На рисунке 2 представлены фрагменты электрокардиограммы и реограммы пациента X2 (1915 г. рождения), полученные в положении лёжа и сидя.

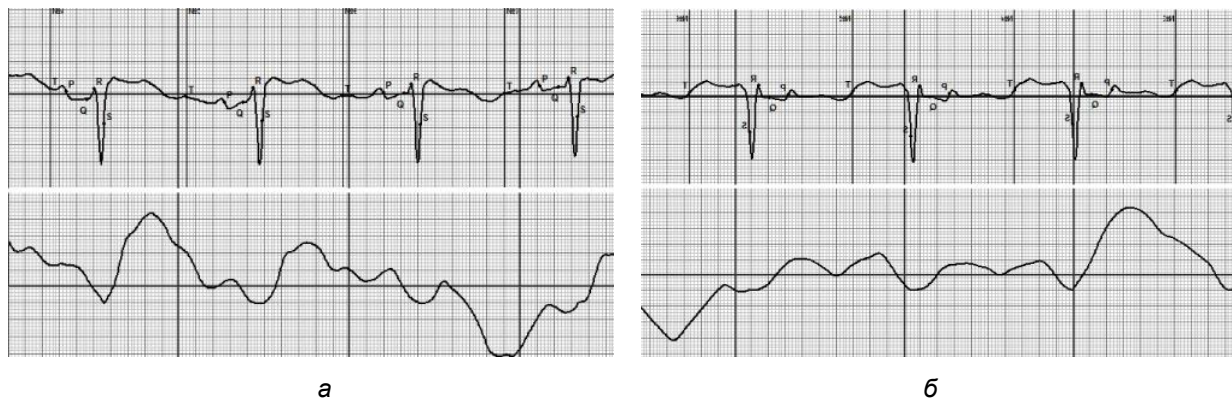


Рис. 2. ЭКГ и РГ пациента X2 (1915 г. рождения), полученные в положении лёжа (а) и (б) сидя

Fig. 2. ECG and RG of patient X2 (born in 1915), obtained in the supine position (a) and (b) while sitting

Диагноз: мало Ca^{++} .

Следствие: коронарный кровоток ослаблен. Кислорода очень мало. Нагрузка на предсердия (PV2).

На рисунке 3 представлены фрагменты электрокардиограммы и реограммы пациента ХЗ (1926 г. рождения), полученные в положении лёжа (а), сидя (б) и стоя (в).

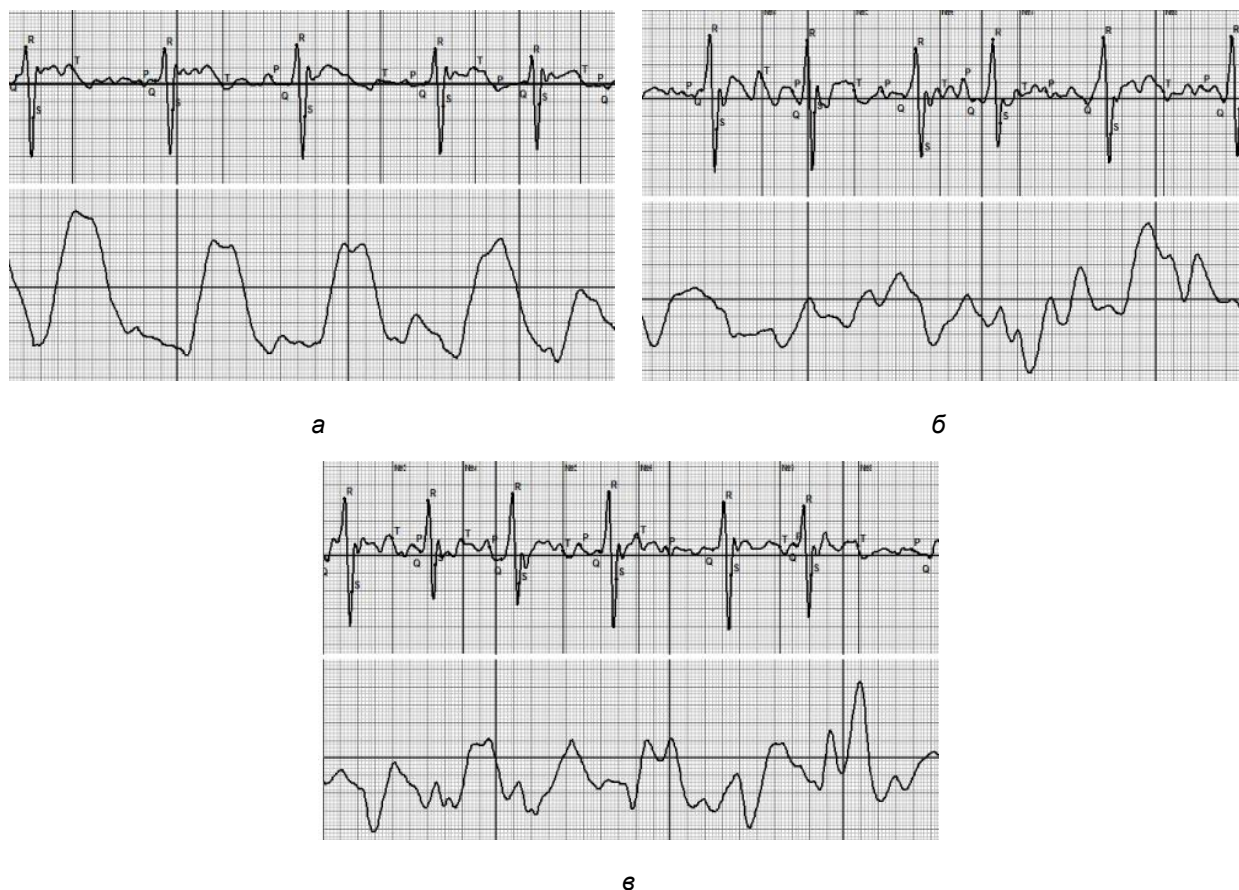


Рис. 3. ЭКГ и РГ пациента ХЗ (1926 г. рождения), полученные в положении лёжа (а), сидя (б) и стоя (в)

Fig. 3. ECG and RG of patient X3 (born in 1926), obtained in the position lying down (а), sitting (б) and (в) standing

Диагноз: эндокардит.

Следствие: снижен коронарный кровоток. Это влияет на гемодинамику и отражается в недостатке объёмов крови в ранней диастоле (PV1)

Нагрузка на предсердия (PV2).

На рисунке 4 представлены фрагменты электрокардиограммы и реограммы пациента Х4 (1919 г. рождения),

полученные в положении лёжа (а) и сидя (б).

Диагноз: мало Ca^{++} . Экстрасистолия, вызванная увеличением числа фибробластов в мышцах. Аорта расширена.

Следствие: мало кислорода в мышцах. КрФ мало. Малый индекс напряжённости, указывающий на тяжёлое состояние. Гемодинамика хорошая.

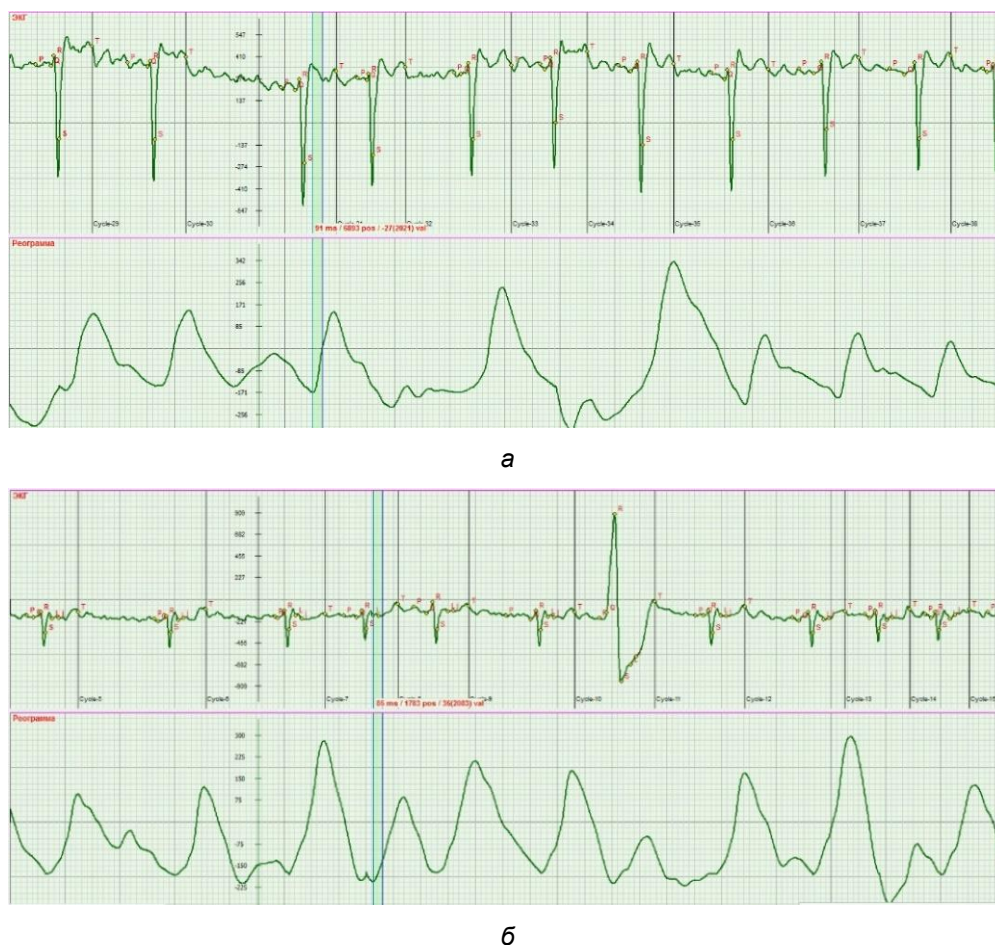


Рис. 4. ЭКГ и РГ пациента Х4 (1919 г. рождения), полученные в положении лёжа (а) и сидя (б)

Fig. 4. ECG and RG of patient X4 (born in 1919), obtained in position lying down (a) and sitting (б)

На рисунке 5 представлены фрагменты электрокардиограммы и реограммы пациента Х5 (1923 г. рождения), полученные в положении лёжа (а), сидя (б) и стоя (в).

Диагноз. Расширена аорта. Высокое диастолическое давление. Коронарный кровоток недостаточен.

Следствие: процент крови ранней диастолы от ударного объёма снижен (RV1). Остальные показатели в норме.

На рисунке 6 представлены фрагменты электрокардиограммы и реограммы пациента Х6 (1928 г. рождения),

полученные в положении лёжа (а) и сидя (б).

Диагноз: низкий уровень кислорода в мышцах сердца.

Следствие: сократимость МЖП значительно снижена.

На рисунке 7 представлены фрагменты электрокардиограммы и реограммы пациента Х7 (1924 г. рождения), полученные в положении лёжа (а) и сидя (б).

Диагноз: лактат ниже нормы.

Следствие: лактат ниже нормы указывает на слабость миокарда. Большой индекс напряжённости указывает на

перенапряжение организма в целом. Параметры гемодинамики в норме.

На рисунке 8 представлены фрагменты электрокардиограммы и реограммы пациента Х8 (1926 г. рождения),

полученные в положении А лёжа и Б сидя.

Диагноз: повышенный лактат.

Остальные параметры в пределах нормы.



а



б



в

Рис. 5. ЭКГ и РГ пациента Х5 (1923 г. рождения), полученные в положении лёжа (а), сидя (б) и стоя (в)

Fig. 5. ECG and RG of patient X5 (born in 1923), obtained in the position lying down (a), sitting (б) and standing (в)



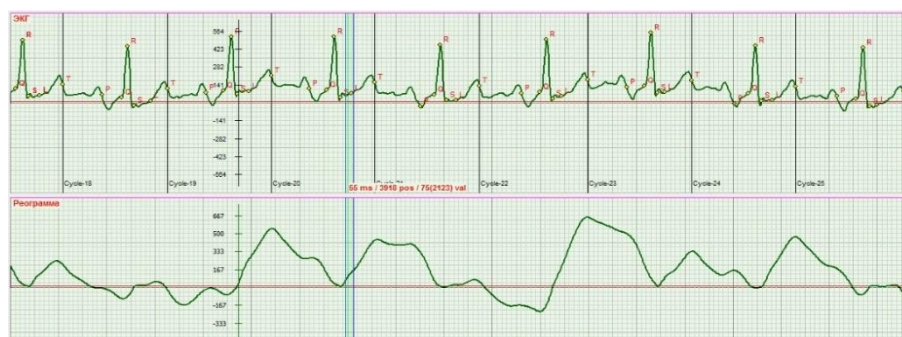
а



б

Рис. 6. ЭКГ и РГ пациента X6 (1928 г. рождения), полученные в положении лёжа (а) и сидя (б)

Fig. 6. ECG and RG of patient X6 (born in 1928), obtained in the supine (а) and sitting positions (б)



а



б

Рис. 7. ЭКГ и РГ пациента X7 (1924 г. рождения), полученные в положении лёжа (а) и сидя (б)

Fig. 7. ECG and RG of patient X7 (born in 1924), obtained in the supine (а) and sitting positions (б)

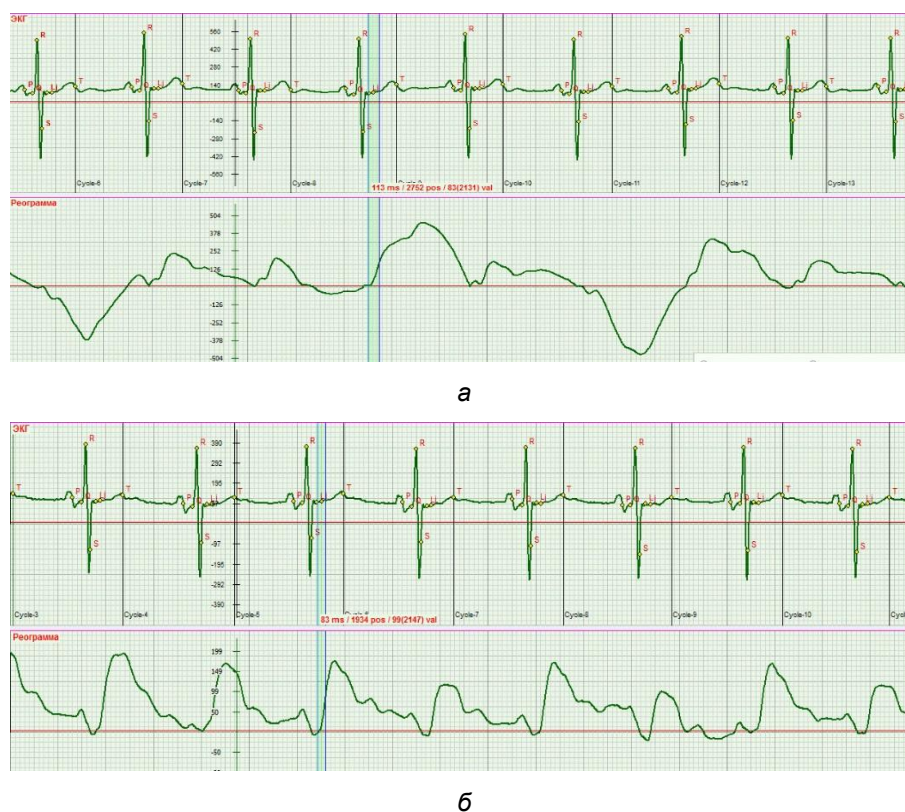


Рис. 8. ЭКГ и РГ пациент X8 (1926 г. рождения), полученные в положении лёжа (а) и сидя (б)

Fig. 8. ECG and RG of patient X8 (born in 1926), obtained in the supine (a) and sitting positions (б)

Исследования метаболизма, гемодинамики и системных показателей сердечно-сосудистой системы долгожителей кардиометрическим методом позволяют оценить трансформации в системе и выработать рекомендации по сохранению здоровья на протяжении многих лет до самого преклонного возраста.

Исходя из приведенных выше данных у обследованных групп долгожителей не выявлено четко выраженных трансформаций сердечно-сосудистой системы с течением времени. Для первых трех из восьми пациентов, проживающих в высокогорных районах, наблюдается снижение коронарного кровотока, у двух из них зафиксировано уменьшение уровня кислорода в крови. Остальные

показатели варьируются в небольших пределах у каждого участника исследования.

Большой практический интерес представляет сравнение возрастных групп жителей (X1-X5), обитающих в высокогорных районах, и жителей России (X6-X8), проживающих на равнинной местности [17].

У проживающих в высокогорных районах отмечается расширение аорты, что обусловлено гипоксией, приводящей к увеличению концентрации углекислого газа в организме, что вызывает расширение сосудов [18] и дисбаланс гемодинамики, особенно заметный при физической активности (X3 и X5) [19]. Недостаточное наполнение аорты

кровью влечет за собой снижение коронарного кровотока [20].

Выводы

Анализ гемодинамических показателей сердечно-сосудистой системы обследованных долгожителей показал, что снижение амплитуды сокращения сердечной мышцы с возрастом связано с уменьшением общей энергии АТФ. Изменение фазовых функций сердечно-сосудистой

системы носит индивидуальный характер. У большинства обследуемых, особенно живущих в высокогорных районах, основной причиной ухудшения гемодинамики является изменение баланса кислорода и углекислого газа в крови из-за нарушения дыхания. Большая часть обнаруженных изменений в сердечно-сосудистой системе относится к возрастным, которые часто проявляются и у людей среднего возраста.

Список литературы

1. Кардиометрия. Основы теории и практики / М. Ю. Руденко, В. А. Зернов, О. К. Воронова [и др.]. М.: Издательство Института китайской медицины, 2020. 214 с.
2. Gromov Y. Y. Gorbunov A. V. Tyutyunnik V. M. Intelligent digitalization of cardiovascular risks // *Cardiometry*. 2022. N 22. P: 77–94.
3. Тютюнник В. М. Реакция организма человека на внешние воздействия: Нобелевская премия по физиологии и медицине за 2021 год // *История науки и техники*. 2022. № 8. С. 3–10.
4. Тютюнник В. М., Бучаченко А. Л. Молекулярный механизм магнитных эффектов для выяснения магнитохимии генов // *Marcus International Symposium (Intl. symp. On Solution Chemistry Sustainable Development), SIPS 2022 by FLOGEN (Sustainability through Science & Technology)*. Mont-Royal, 2022.
5. Филиппов Ю. А. Технологии определения функционального и физиологического состояния человека // *Вестник Российского нового университета. Сложные системы: модели, анализ, управление*. 2020. № 5. С. 63–71.
6. Бучаченко А. Л., Тютюнник В. М. Новые рубежи геномной химии. Перспективные направления исследований в науке и технике / под ред. В. М. Тютюнника. Тамбов: Нобелистика, 2021. С. 144–157.
7. Анализатор гемодинамический «кардиокод» / В. А. Зернов, М. Ю. Руденко, О. Г. Дворина, Е. А. Палкин // *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2020. № 97(6-2). С. 44.
8. Сердечно-сосудистая система спортсмена. Кардиометрические характеристики физических возможностей до, во время и после занятий спортом / М. Ю. Руденко [и др.]. М.: Издательство Института китайской медицины, 2020. 160 с.

9. Норск П. Адаптация сердечно-сосудистой системы к невесомости: сюрпризы, парадоксы и последствия для дальних космических миссий // *Acta Physiol. (Oxf)*. 2020. № 228(3). P. e13434. <https://doi.org/10.1111/apha.13434>
10. Зернов В. А., Воронова О. К., Руденко М. Ю. Диагностика функций сердечно-сосудистой системы и оценка параметров гемодинамики на основе фазового анализа сердечного цикла // *Информационные процессы, системы и технологии*. 2022. № 3(24). С. 32–44.
11. Воронова О. К., Зернов В. А., Руденко М. Ю. Точное определение границы фаз быстрого и медленного изгнания на ЭКГ и уточнение местоположения точки j // *Современные технологии в медицине*. 2020. № 12(3). С. 6–11.
12. Hui Zhu, Hanqing Wang, Zhiqiang Liu. Effects of real and simulated weightlessness on the cardiac and peripheral vascular functions of humans // *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*. 2015. N 28(5). P. 793-802. <https://doi.org/10.13075/ijomh.1896.00301>
13. Новиков В. С., Сороко С. И., Шустов Е. В. Дезадаптивные состояния человека и их коррекция при экстремальных воздействиях. СПб.: Политехника-принт, 2018. С. 5–11.
14. Кардиометрическая таксономия потенциала стресс-индикаторов в различных бытовых ситуациях / А. С. Огнев, Э. В. Лихачева, В. А. Зернов [и др.] // *Кардиометрия*. 2019. № 14. С. 101-4. EDN: LNQTO
15. Reverse techniques as a means of increasing the validity of the cardio-oculometric diagnostics / E. V. Brodovskaya, A. Y. Dombrovskaya, V. A. Zernov, E. V. Lobanova, E. V. Likhacheva, L. P. Nikolaeva, A. S. Ognev, M. Y. Rudenko // *Cardiometry*. 2021. N 18. P. 33–37.
16. Рочагов А. В., Жолобов А. В., Явелов О. И. Алгоритм артериального тонометра // *Восточно-Европейский научный журнал*. 2019. № 9 (49), ч. 2. С. 38–44.
17. «Третий режим» движения крови и параметры центральной гемодинамики у детей при аппендикулярном перитоните и деструктивной пневмонии / В. А. Вечеркин, О. К. Воронова, Д. А. Тома, П. В. Коряшкин // *Детская хирургия*. 2019. № 23(4). С. 193–195.
18. Гречкина Л. И. Оценка гемодинамических показателей как потенциальных маркеров риска сердечно-сосудистой системы у молодых мужчин с разными типами саморегуляции кровообращения // *Анализ риска для здоровья*. 2019. № 1. С. 118–124.
19. Rudenko M. Yu., Zernov V. A., Voronova O. K. Mathematical model of hemodynamics // *Russian Journal of Cardiology*. 2018. Vol. 23, N 10. P. 175a-175b.
20. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension / B. Williams, G. Mancia, W. Spiering [et al.] // *European Heart Journal*. 2018. N 39(33). P. 3021–104. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy339>

References

1. Rudenko M.Y., Zernov V.A., Voronova O.K., et al. *Cardiometry. Fundamentals of theory and practice*. Moscow: Izdatel'stvo Instituta kitaiskoi meditsiny; 2020. 214 p. (In Russ.)
2. Gromov Y.Y. Gorbunov A.V. Tyutyunnik V.M. Intelligent digitalization of cardiovascular risks. *Cardiometry*. 2022;(22):77–94.
3. Tyutyunnik V.M. Reaction of the human body to external influences: Nobel Prize in Physiology and Medicine for 2021. *Istoriya nauki i tekhniki = History of Science and Technology*. 2022;(8):3–10. (In Russ.)
4. Tyutyunnik V.M., Buchachenko A.L. The molecular mechanism of magnetic effects for elucidating the magnetochemistry of genes. In: *Marcus International Symposium (Intl. symp. On Solution Chemistry Sustainable Development), SIPS 2022 by FLOGEN (Sustainability through Science & Technology)*. Mont-Royal; 2022.
5. Filippov Y.A. Technologies for determining the functional and physiological state of a person. *Vestnik Rossiiskogo novogo universiteta. Slozhnye sistemy: modeli, analiz, upravlenie = Bulletin of the Russian New University. Complex systems: Models, Analysis, Management*. 2020;(5):63–71. (In Russ.)
6. Buchachenko A.L., Tyutyunnik V.M. New frontiers of genetic chemistry. Promising research directions in science and technology. Tambov: Nobelistics; 2021. P. 144–157. (In Russ.)
7. Zernov V.A., Rudenko M.Y., Dvorina O.G., Palkin E.A. Hemodynamic analyzer «cardiocode». *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kul'tury = Issues of Balneology, Physiotherapy and Therapeutic Physical Culture*. 2020;(97):44. (In Russ.)
8. Rudenko M.Y., et al. The cardiovascular system of an athlete. Cardiometric characteristics of physical capabilities before, during and after sports. Moscow: Izdatel'stvo Instituta kitaiskoi meditsiny; 2020. 160 p. (In Russ.)
9. Norsk P. Adaptation of the cardiovascular system to weightlessness: surprises, paradoxes and consequences for deep space missions. *Acta Physiol. (Oxf)*. 2020;(228):e13434. (In Russ.) <https://doi.org/10.1111/apha.13434>
10. Zernov V.A., Voronova O.K., Rudenko M.Yu. Diagnosis of cardiovascular system functions and assessment of hemodynamic parameters based on phase analysis of the cardiac cycle. *Informatsionnye protsessy, sistemy i tekhnologii = Information Processes, Systems and Technologies*. 2022;(3):32–44. (In Russ.)
11. Voronova O.K., Zernov V.A., Rudenko M.Yu. Precise determination of the boundary of the phases of rapid and slow expulsion on the ECG and clarification of the location of point j. *Sovremennye tekhnologii v meditsine = Modern Technologies in Medicine*. 2020;(12):6–11. (In Russ.)
12. Hui Zhu, Hanqing Wang, Zhiqiang Liu. Effects of real and simulated weightlessness on the cardiac and peripheral vascular functions of humans. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*. 2015;(28):793–802. <https://doi.org/10.13075/ijom.1896.00301>

13. Novikov B.C., Soroko S.I., Shustov E.B. Maladaptive human states and their correction under extreme conditions. St. Petersburg: Polytechnica-Print; 2018. P. 5–11. (In Russ.)
14. Ognev A.S., Likhacheva E.V., Zernov V.A., et al. Cardiometric taxonomy of the potential of stress indicators in various everyday situations. *Kardiometriya = Cardiometrics*. 2019;(14):101-4. (In Russ.) EDN: LNQTO
15. Brodovskaya E.V., Dombrovskaya A.Y., Zernov V.A., Lobanova E.V., Likhacheva E.V., Nikolaeva L.P., Ognev A.S., Rudenko M.Y. Reverse techniques as a means of increasing the validity of the cardio-oculometric diagnostics. *Cardiometry*. 2021;(18):33–37.
16. Rochagov A.V., Zholobov A.V., Yavelov O.I. Algorithm of arterial tonometer. *East European Scientific Journal*. 2019;(9):38–44. (In Russ.)
17. Vecherkin V.A., Voronova O.K., Toma D.A., Koryashkin P.V. The «Third mode» of blood movement and parameters of central hemodynamics in children with appendicular peritonitis and destructive pneumonia. *Detskaya khirurgiya = Pediatric Surgery*. 2019;(23):193–195. (In Russ.)
18. Grechkina L.I. Assessment of hemodynamic parameters as potential markers of cardiovascular risk in young men with different types of circulatory self-regulation. *Analiz riska dlya zdorov'ya = Health Risk Analysis*. 2019;(1):118–124. (In Russ.)
19. Rudenko M.Y., Zernov V.A., Voronova O.K. Mathematical model of hemo-dynamics. *Russian Journal of Cardiology*. 2018;23(10):175a–175b.
20. Williams B., Mancia G., Spiering W., et al. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. *European Heart Journal*. 2018;(39):3021–104. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy339>

Информация об авторах / Information about the Authors

Чернов Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электрогидроакустической и медицинской техники, Южный федеральный университет, Ростовская область, г. Таганрог, Российская Федерация, e-mail: nik-chernov@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-2438-4825

Nikolay N. Chernov, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Department of Electrohydroacoustic and Medical Technology, Southern Federal University, Rostov region, Taganrog, Russian Federation, e-mail: nik-chernov@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-2438-4825

Руденко Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, преподаватель, Южный федеральный университет, Ростовская область, г. Таганрог, Российская Федерация, e-mail: cardiocode@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1860-3454

Mikhail Y. Rudenko, Candidate of Sciences (Engineering), Lecturer, Southern Federal University, Rostov region, Taganrog, Russian Federation, e-mail: cardiocode@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1860-3454