

Оригинальная статья

Спектральный анализ сигналов вегетативной регуляции кровообращения пациентов с COVID-19 и артериальной гипертензией

Сказкина В.В.¹, Попов К.А.², Красикова Н.С.²¹ ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов, Россия² ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им В. И. Разумовского» Минздрава России, Саратов, Россия

Резюме

Целью работы является проведение сравнительного анализа спектральных показателей сигналов фотоплетизмограммы и RR-интервалов здоровых добровольцев, пациентов с COVID-19, а также пациентов с COVID-19 и хронической артериальной гипертензией 1-2 степени. Всего в исследование включено 45 записей пар сигналов электрокардиограммы и фотоплетизмограммы. Каждая выборка включила в себя по 15 пар 20-минутных экспериментальных сигналов. В работе было выявлено увеличение интегральной мощности низкочастотного (LF) диапазона над интегральной мощностью высокочастотного (HF) диапазона в сигналах фотоплетизмограммы у пациентов с COVID-19, отягощенной гипертензией. В сигналах RR-интервалов наибольшие значения отношения показателей LF к HF связаны с пациентами без сердечно-сосудистых заболеваний. В свою очередь, это может быть показателем различного влияния вирусной инфекции и артериальной гипертензии на контуры вегетативного контроля сердечного ритма и тонуса сосудов.

Ключевые слова: Covid-19, артериальная гипертензия, вегетативная регуляция, сердечно-сосудистая система, спектральный анализ

Библиографическая ссылка: Сказкина В.В., Попов К.А., Красикова Н.С. Спектральный анализ сигналов вегетативной регуляции кровообращения пациентов с COVID-19 и артериальной гипертензией. *Кардио-ИТ* 2021; 8(2): e0201.

Поступила в редакцию 22 ноября 2021. Принята в печать 20 декабря 2021.

© 2021, Сказкина В.В., Попов К.А., Красикова Н.С.

Ответственный автор: Сказкина Виктория Викторовна – ул. Астраханская, д. 62/66, кв. 1, 410004, Россия, г. Саратов. Тел.: +7 (927) 126-12-33. E-mail: skazkinavv@yandex.ru.

Original article

Spectral analysis of signals of autonomic regulation of blood circulation in patients with COVID-19 and arterial hypertension

Viktoriiia. V. Skazkina¹, Konstantin A. Popov², Natalia S. Krasikova²¹ Saratov State University, Saratov, Russia² Saratov State Medical University, Saratov, Russia

Abstract

The work aims to carry out a comparative analysis of the spectral indices of the photoplethysmogram signals and RR-intervals of healthy volunteers, patients with COVID-19, as well as patients with COVID-19 and chronic arterial hypertension of 1-2 degrees. The study included 45 records of pairs of electrocardiogram and photoplethysmogram signals. Each sample included 15 pairs of 20-minute experimental signals. The study revealed an increase in the integrated power of the low-frequency (LF) band over the integrated power of the high-frequency (HF) band in the photoplethysmogram signals in patients with COVID-19, burdened with hypertension. In the signals of the RR-intervals, the largest values of the ratio of the LF to HF indices are associated with patients without cardiovascular diseases. In turn, this may be an indicator of the different effects of viral infection and arterial hypertension on the loops of autonomic control of heart rate and vascular tone.

Keywords: Covid-19, arterial hypertension, autonomic regulation, cardiovascular system, spectral analysis.

Cite as Skazkina V.V., Popov K.A., Krasikova N.S. Spectral analysis of signals of autonomic regulation of blood circulation in patients with COVID-19 and arterial hypertension. *Cardio-IT* 2021; 8(2): e0201.

Received 22 November 2021. Accepted 20 December 2021.

© 2021, Skazkina V.V., Popov K.A., Krasikova N.S.

Corresponding author: Viktoriiia V. Skazkina – Astrachanskaya, 62/66, 1, 410004, Saratov, Russia. Phone: +7 (927) 126-12-33. E-mail: skazkinavv@yandex.ru.

Введение

Сердечно-сосудистые заболевания лидируют в числе причин смертности во всех развитых странах мира [1]. Существенными проблемами в борьбе с этими заболеваниями являются, в том числе, недостаточные знания о элементах регуляции ее деятельности, а также отсутствие эффективных методов ранней диагностики патологических изменений.

Большая часть широко применяемых методов диагностики состояния органов и систем организма основаны на изучении морфологических отклонений [2]. Диагностика отклонений на уровне функциональных особенностей является одним из перспективных направлений современной медицины. Своевременное восстановление функциональных взаимодействий между системами вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы (ССС) может предотвратить

развитие морфологических патологий. Исследование состояния вегетативного контроля ССС доказало свою перспективность в клинической диагностике в качестве чувствительного маркера развития патологий различных органов и систем на ранних стадиях [3-7]. Стоит отдельно отметить то, что сигналы активности вегетативного контроля кровообращения легко получить неинвазивно из сигналов ССС, например, из сигнала электрокардиограммы, артериального давления или фотоплетизмограммы [3,8,9].

Тяжелые последствия распространившейся пандемии COVID-19 заставили многих исследователей сконцентрироваться на исследовании влияния вирусной инфекции на различные системы организма, которые, в том числе, реагируют на попадание вируса в организм и потенциально могут выступать в качестве маркера развития патологии на ранних стадиях заболевания до проявления выраженных клинических симптомов.

В этом направлении уже получен целый ряд важных результатов, который свидетельствует о существенном влиянии COVID-19 на элементы вегетативного контроля ССС. Так в работах [10-12] было показано исследование воздействия вируса на активность вегетативной регуляции кровообращения через изменение секреции ангиотензинпревращающего фермента 2 (ACE-2) [11]. Клеточной точкой входа для SARS-CoV-2 является белок ACE-2, служащий компонентом регуляции ренин-ангиотензиновой системы и участвующий в регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы [13]. При этом, с одной стороны, существует хорошо установленная взаимосвязь между активацией ренин-ангиотензиновой системы и вегетативной дисфункцией при сердечно-метаболических заболеваниях, таких как артериальная гипертензия, сердечная недостаточность и диабет [14]. В этих условиях часто существует петля положительной обратной связи между активацией ренин-ангиотензиновой системы и тоническим усилением эфферентной симпатической нервной активности, при этом повышение симпатической активности может стимулировать активацию ренин-ангиотензиновой системы, которая, в свою очередь, может дополнительно регулировать симпатическую активность [14], что может со временем приводить к истощению ресурсов системы.

Цель

Таким образом, целью работы является проведение сравнительного анализа спектральных показателей сигналов сердечно-сосудистой системы здоровых добровольцев, пациентов с вирусным заболеванием Covid-19, в том числе отягощенным артериальной гипертензией.

Материалы и методы

В ходе работы были получены экспериментальные сигналы фотоплетизмограммы и электрокардиограммы пациентов, находящихся на амбулаторном лечении в больнице с диагнозом COVID-19, и здоровых добровольцев. Пациенты были разбиты на 2 выборки: пациенты с артериальной гипертензией (1-2 стадия) и без нее. Всего было включено 15 пар сигналов электрокардиограммы и фотоплетизмограммы в каждую группу. Возраст испытуемых составил: 20 ± 2 года для контрольной группы здоровых испытуемых, 48 ± 15 лет для группы пациентов с COVID-19 и без хронических заболеваний ССС, 43 ± 18 лет для группы пациентов с COVID-19 и

артериальной гипертензией. У всех пациентов было установлено легкое течение вирусного заболевания. Они не нуждались в кислородной поддержке.

Сигналы записывались с помощью стандартного сертифицированного многоканального регистратора "Реакор-Т" (Медиком-МТД, Таганрог) в течение 20 минут в спокойном состоянии, лежа, со спонтанным дыханием. Сигнал электрокардиограммы был записан в соответствии с рекомендациями [15] в I стандартном отведении. Сигналы фотоплетизмограммы записывались инфракрасным датчиком [16-18]. Частота дискретизации составила 250 Гц.

Все действия, выполненные в работе с участием людей, соответствовали этическим стандартам институционального и национального исследовательского комитета, а также Хельсинкской декларации 1964 года и более поздним поправкам к ней или сопоставимым этическим стандартам. Дизайн исследования одобрен этическим комитетом Саратовского Государственного Медицинского Университета им. В.И. Разумовского (Саратов, Россия) в 2021 году, и письменное информированное согласие было получено от всех испытуемых, участвовавших в исследовании.

На *рисунке 1* представлены типичные участки экспериментальных сигналов для трех исследуемых выборок.

Исследования вегетативного контроля кровообращения часто включают в себя спектральные методы анализа [19]. Частоты в диапазоне от 0.05-0.15 Гц (low frequency, LF) связывают преимущественно с активностью симпатической вегетативной регуляции кровообращения, от 0.15-0.4 Гц (high frequency, HF) - преимущественно с активностью парасимпатической вегетативной регуляции [3, 19]. В работе для исследования вегетативной регуляции сердечного ритма из сигнала электрокардиограммы выделялась последовательность Новый сигнал последовательности RR-интервалов был интерполирован с помощью кубических β -сплайнов. Результат преобразования одного сигнала в другой показан на *рисунке 2*.

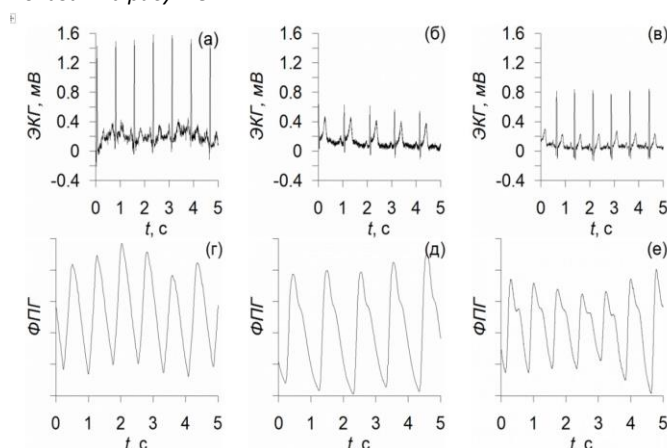


Рисунок 1. Примеры экспериментальных сигналов ЭКГ и ФПГ пациентов с Covid-19 и артериальной гипертензии (а, г), с Covid-19 и без хронических патологий ССС (б, д), контрольной группы здоровых добровольцев (в, е)

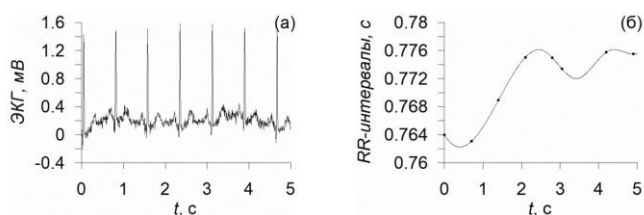


Рисунок 2. Пример преобразования сигнала ЭКГ (а) в сигнал последовательности RR-интервалов (б)

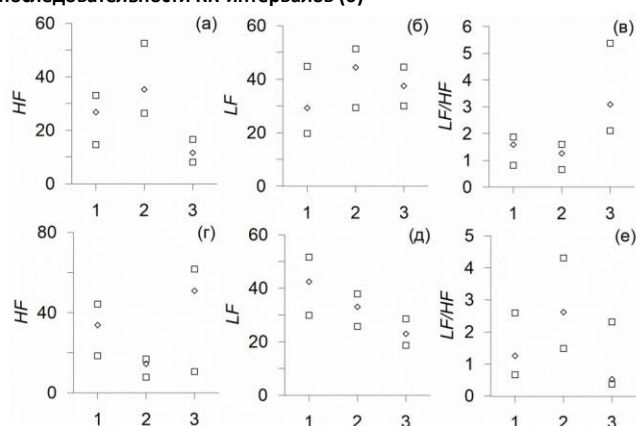


Рисунок 3. Усредненные спектральные показатели LF %, HF % и отношения LF/HF, рассчитанные по сигналам ФПГ (а-в) и по сигналам RR-интервалов (г-д). Квадратами изображены квартили (25 %, 75 %) соответственно, ромбом показана медиана. По горизонтальной оси указаны группы испытуемых: 1 – контрольная группа здоровых добровольцев, 2 – пациенты с Covid-19 и без хронических патологий, 3 – пациенты с Covid-19 и артериальной гипертензией

Результаты

Полученные сигналы RR-интервалов и фотоплетизмограммы были проанализированы с помощью методов спектрального анализа. Для каждого сигнала ФПГ и RR-интервалов были рассчитаны спектральные показатели LF % (отношение интегральной спектральной мощности в диапазоне [0.05-0.15] Гц к интегральной спектральной мощности TP в диапазоне [0-0.4] Гц, выраженное в процентах), HF % (отношение интегральной спектральной мощности в диапазоне [0.15-0.4] Гц к интегральной спектральной мощности TP в диапазоне [0-0.4] Гц, выраженное в процентах) и отношение LF/HF в скользящих неперекрывающихся 5-минутных окнах. Далее для каждой записи показатели усреднялись по всем имеющимся окнам. На рисунке 3 показаны усредненные по ансамблю показатели LF %, HF % и отношения LF/HF.

Обсуждение

Рисунок 3 (а-в) демонстрирует усредненные по ансамблю записей спектральные показатели LF%, HF% и их отношение для сигнала фотоплетизмограммы. Самые высокие значения показателей соответствуют выборке пациентов с COVID-19, но без патологий ССС (рис. 3а,б) как для низкочастотного (LF), так и для высокочастотного (HF) диапазона. Также были показаны более высокие значения показателя LF% для группы пациентов с COVID-19 и артериальной гипертензией в сравнении с выборкой здоровых добровольцев, что может быть связано с повышением симпатической активности вегетативной регуляции тонуса сосудов при развитии вирусного

заболевания. При этом отношение LF к HF (показатель вегетативно баланса) также демонстрирует существенное преобладание активности симпатической системы регуляции у пациентов с гипертензией и вирусным заболеванием (рис. 3в). U-критерий Манна-Уитни позволил выявить достоверную разницу значений LF/HF в группе здоровых добровольцев (1 группа, рис. 3в) и пациентов с Covid-19, отягощенным гипертензией (3 группа, рис. 3в) : $U_{\text{эмп.}} = 34$, $U_{0,01} = 56$. Данный результат подтверждает наблюдения, показанные в работе [15]. Также U-критерий Манна-Уитни позволил показать достоверное различие между значениями показателя LF/HF в группе пациентов с COVID-19 (2 группа, рис. 3в) и пациентов с Covid-19, отягощенным гипертензией (3 группа, рис. 3в) : $U_{\text{эмп.}} = 33$, $U_{0,01} = 56$. U-критерий Манна-Уитни подтвердил, что разница средних групповых показателей LF/HF статистически значима при $p \leq 0,01$.

При исследовании вариабельности сердечного ритма (рис. 3г-е) можно наблюдать увеличение спектральной мощности в HF диапазоне у пациентов с гипертензией и COVID-19 (рис. 3г), при этом наблюдается уменьшение спектральной мощности в LF диапазоне у пациентов с COVID-19 по сравнению со здоровыми добровольцами, а также у пациентов с артериальной гипертензией по сравнению пациентами с COVID-19 и без хронических патологий. Показатель вегетативного баланса (LF/HF) показывает наибольшее значение у группы пациентов с вирусным заболеванием, но без отягощающих патологий. Различия между усредненными спектральными показателями сигналов фотоплетизмограммы и RR-интервалов, по-видимому, отражают разный характер влияния вирусной инфекции и хронической артериальной гипертензии на контуры вегетативной регуляции сосудистого тонуса (а-в) и сердечного ритма (г-е).

В ходе дальнейшей работы будет увеличен объем экспериментальной выборки, а также применены методы оценки коллективной динамики исследуемых систем.

Заключение

В работе показаны особенности вегетативной регуляции сердечного ритма и тонуса артерий для здоровых добровольцев, группы пациентов с COVID-19 без отягощающих патологий и группы пациентов с COVID-19 и хронической артериальной гипертензией.

По сигналам фотоплетизмограммы у пациентов с хронической гипертензией и вирусным заболеванием показана статистически значимое повышение активности симпатической регуляции тонуса сосудов в сравнении с группой пациентов без хронических патологий ССС и здоровых добровольцев.

По сигналам вегетативной регуляции сердечного ритма обнаружено увеличение активности симпатической системы у пациентов с вирусным заболеванием, но без дополнительных патологий. Разное соотношение LF и HF показателей сердечного ритма и тонуса артерий может быть связано с разным характером влияния вирусной инфекции на системы вегетативного контроля сердечного ритма и тонуса сосудов пациентов с хронической артериальной гипертензией.

Финансирование: работа подготовлена в рамках проекта, поддержанного Стипендией Президента РФ СП-2261.2021.4.

Конфликт интересов: не заявляется

Литература

1. World Health Organization: http://www.who.int/cardiovascular_diseases/about_cvd/en/
2. Elliott P., Andersson B., Arbustini E., et al. Classification of the cardiomyopathies: a position statement from the European society of cardiology working group on myocardial and pericardial diseases. *European heart journal* 2008; 29(2): 270-276. <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehm342>.
3. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 1996; 93(5): 1043-1065. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8598068/>
4. Kristal B.E., Raifel M., Froom P., et al. Heart rate variability in health and disease. *Scand J Work Environ Health* 1995; 21(2): 85. <http://dx.doi.org/10.5271/sjweh.15>.
5. Zhang J., Dean D. Effect of shortterm chiropractic care on pain and heart rate variability in a multisite clinical. Study International Research and Philosophy Symposium: Abstracts. Sherman College of Straight Chiropractic. *Spartanburg* 2004; 910. <http://dx.doi.org/10.1016/J.JMPT.2006.03.010>.
6. De Souza N.M., Vanderlei L.C.M., Garner D.M.. Risk evaluation of diabetes mellitus by relation of chaotic globals to HRV. *Complexity* 2015; 20(3): 84–92. <http://dx.doi.org/10.1002/cplx.21508>.
7. Englot D.J., D'Haese P.F., Konrad P.E., et al. Functional connectivity disturbances of the ascending reticular activating system in temporal lobe epilepsy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2017; 88: 925-932. <http://dx.doi.org/10.1136/innp-2017-315732>.
8. Imholz B.P.M., Wieling W., van Montfrans G.A., et al. Fifteen years experience with finger arterial pressure monitoring: assessment of the technology. *Cardiovascular Research* 1998; 38(3): 605-616. [https://doi.org/10.1016/S0008-6363\(98\)00067-4](https://doi.org/10.1016/S0008-6363(98)00067-4)
9. Webster J., Watson R.T. Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. *MIS Quarterly* 2002; 26(2): 13-23. <http://dx.doi.org/10.1080/12460125.2020.1798591>.
10. Del Rio R., Marcus N.J., Inestrosa N.C. Potential Role of Autonomic Dysfunction in Covid-19 Morbidity and Mortality. *Frontiers in Physiology* 2020; 11: 561749. <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2020.561749>.
11. Briguglio M., Porta M., Zuffada F., et al. SARS-CoV-2 Aiming for the Heart: A Multicenter Italian Perspective About Cardiovascular Issues in COVID-19. *Frontiers in Physiology* 2020; 11: 571367. <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2020.571367>.
12. Fudim M., Qadri Y.J., Ghadimi K., et al. Implications for Neuromodulation Therapy to Control Inflammation and Related Organ Dysfunction in COVID-19. *Journal of Cardiovascular Translational Research* 2020; 13: 894–899. <http://dx.doi.org/10.1007/s12265-020-10031-6>.
13. Zheng Y.Y., Ma Y.T., Zhang J.Y., et al. COVID-19 and the cardiovascular system. *Nat Rev Cardiol* 2020; 17(5): 259-260. <http://dx.doi.org/10.1038/s41569-020-0360-5>.
14. Díaz H.S., Toledo C., Andrade D.C., et al. Neuroinflammation in heart failure: new insights for an old disease. *J. Physiol.* 2020; 598: 33–59. <http://dx.doi.org/10.1113/JP278864>.
15. Kligfield P., Gettes L.S., Bailey J.J., et al. Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram. *Journal of the American College of Cardiology* 2007; 49: 1109–1127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2007.01.024>.
16. Bernardi L., Radaelli A., Solda P.L., et al. Autonomic control of skin microvessels: assessment by power spectrum of photoplethysmographic waves. *Clin. Sci.* 1996; 90: 345–355. <http://dx.doi.org/10.1042/cs0900345>.
17. Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. *Physiol. Meas.* 2007; 28(3): 1–39. <http://dx.doi.org/10.1088/0967-3334/28/3/R01>
18. Middleton P.M., Tang C.H.H., Chan G.S.H., et al. Peripheral photoplethysmography variability analysis of sepsis patients. *Med. Biol. Eng. Comput.* 2011; 49(3): 337–347. <http://dx.doi.org/10.1007/s11517-010-0713-z>.
19. Баяевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем. *Вестник аритмологии* 2002; 24: 65.

References

1. World Health Organization: http://www.who.int/cardiovascular_diseases/about_cvd/en/
2. Elliott P, Andersson B, Arbustini E, et al. Classification of the cardiomyopathies: a position statement from the European society of cardiology working group on myocardial and pericardial diseases. *European heart journal* 2008; 29(2): 270-276. <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehm342>.
3. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 1996; 93(5): 1043-1065. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8598068/>
4. Kristal BE, Raifel M, Froom P, et al. Heart rate variability in health and disease. *Scand J Work Environ Health* 1995; 21(2): 85. <http://dx.doi.org/10.5271/sjweh.15>
5. Zhang J, Dean D. Effect of shortterm chiropractic care on pain and heart rate variability in a multisite clinical. Study International Research and Philosophy Symposium: Abstracts. Sherman College of Straight Chiropractic. *Spartanburg* 2004; 910. <http://dx.doi.org/10.1016/J.JMPT.2006.03.010>.
6. De Souza NM, Vanderlei LCM, Garner DM. Risk evaluation of diabetes mellitus by relation of chaotic globals to HRV. *Complexity* 2015; 20(3): 84–92. <http://dx.doi.org/10.1002/cplx.21508>.
7. Englot DJ, D'Haese PF, Konrad PE, et al. Functional connectivity disturbances of the ascending reticular activating system in temporal lobe epilepsy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2017; 88: 925-932. <http://dx.doi.org/10.1136/innp-2017-315732>.
8. Imholz BPM, Wieling W, van Montfrans GA, et al. Fifteen years experience with finger arterial pressure monitoring: assessment of the technology. *Cardiovascular Research* 1998; 38(3): 605-616. [https://doi.org/10.1016/S0008-6363\(98\)00067-4](https://doi.org/10.1016/S0008-6363(98)00067-4).
9. Webster J, Watson RT. Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. *MIS Quarterly* 2002; 26(2): 13-23. <http://dx.doi.org/10.1080/12460125.2020.1798591>.
10. Del Rio R, Marcus NJ, Inestrosa NC. Potential Role of Autonomic Dysfunction in Covid-19 Morbidity and Mortality. *Frontiers in Physiology* 2020; 11: 561749. <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2020.561749>.
11. Briguglio M, Porta M, Zuffada F, et al. SARS-CoV-2 Aiming for the Heart: A Multicenter Italian Perspective About Cardiovascular Issues in COVID-19. *Frontiers in Physiology* 2020; 11: 571367. <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2020.571367>.
12. Fudim M, Qadri YJ, Ghadimi K, et al. Implications for Neuromodulation Therapy to Control Inflammation and Related Organ Dysfunction in COVID-19. *Journal of Cardiovascular Translational Research* 2020; 13: 894–899. <http://dx.doi.org/10.1007/s12265-020-10031-6>.
13. Zheng YY, Ma YT, Zhang JY, et al. COVID-19 and the cardiovascular system. *Nat Rev Cardiol* 2020; 17(5): 259-260. <http://dx.doi.org/10.1038/s41569-020-0360-5>.
14. Díaz HS, Toledo C, Andrade DC, et al. Neuroinflammation in heart failure: new insights for an old disease. *J. Physiol.* 2020; 598: 33–59. <http://dx.doi.org/10.1113/JP278864>.
15. Kligfield P, Gettes LS, Bailey JJ, et al. Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram. *Journal of the American College of Cardiology* 2007; 49: 1109–1127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2007.01.024>.

16. Bernardi L, Radaelli A, Solda PL, et al. Autonomic control of skin microvessels: assessment by power spectrum of photoplethysmographic waves. *Clin. Sci.* 1996; 90: 345–355. <http://dx.doi.org/10.1042/cs0900345>.
17. Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. *Physiol. Meas.* 2007; 28(3): 1–39. <http://dx.doi.org/10.1088/0967-3334/28/3/R01>.
18. Middleton PM, Tang CHN, Chan GSH., et al. Peripheral photoplethysmography variability analysis of sepsis patients. *Med. Biol. Eng. Comput.* 2011; 49(3): 337–347. <http://dx.doi.org/10.1007/s11517-010-0713-z>.
19. Baevsky RM, Ivanov GG, Chireikin LV, et al. Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems. *Vestnik Aritmologii* 2002; 24: 65 [In Russ].

Информация об авторах:

Сказкина Виктория Викторовна – аспирант, кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии, ФГБОУ ВО СГУ им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия <http://orcid.org/0000-0001-9380-8292>.

Попов Константин Андреевич – ординатор, кафедра факультетской терапии лечебного факультета, ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им В.И. Разумовского Минздрава России, Саратов, Россия <http://orcid.org/0000-0001-5517-4591>.

Красикова Наталья Сергеевна – аспирант, кафедра скорой, неотложной, анестезиолого-реанимационной помощи и симуляционных технологий в медицине, ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им В.И. Разумовского Минздрава России, Саратов, Россия <http://orcid.org/0000-0001-7690-6923>.

Authors:

Viktoriia V. Skazkina – PhD student, MSc, Engineer, Department of Dynamic Modeling and Biomedical Engineering, Saratov State University, Saratov, Russia. <http://orcid.org/0000-0001-9380-8292>.

Konstantin A. Popov - PhD student, Faculty Therapy Chair, Saratov State Medical University, Saratov, Russia, <http://orcid.org/0000-0001-5517-4591>.

Natalia S. Krasikova - PhD student, Department of Emergency, Anesthetic and Simulation Technologies in Medicine, Saratov State Medical University, Saratov, Russia. <http://orcid.org/0000-0001-7690-6923>.