

КЛИНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ПАЦИЕНТОВ С СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

¹Борисенко Т. Л., ¹Снежицкий В. А., ²Фролов А. В.

¹Гродненский государственный медицинский университет, Гродно, Беларусь

²Республиканский научно-практический центр «Кардиология», Минск, Беларусь

Под вариабельностью сердечного ритма (ВСР) понимают выраженность колебаний частоты сердечных сокращений или RR-интервалов по отношению к среднему уровню их значений. ВСР определяют как фактическую изменчивость продолжительности RR-интервалов между последовательными циклами сердечных сокращений за определенный промежуток времени. Традиционные методы анализа вариабельности сердечного ритма часто недостаточны для характеристики сложной динамики сердечбиения, поскольку механизмы, участвующие в регуляции сердечно-сосудистой системы, вероятно, взаимодействуют друг с другом нелинейным образом. В статье приведены данные взаимосвязи нелинейных параметров вариабельности сердечного ритма у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Можно сделать вывод, что нелинейный анализ ВСР дает полезную информацию для характеристики вегетативного баланса, является надежным маркером осложнений и смертности у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Ключевые слова: сердечно-сосудистые заболевания, вариабельность сердечного ритма, нелинейный анализ.

Для цитирования: Борисенко, Т. Л. Клиническое значение нелинейных параметров вариабельности сердечного ритма у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями / Т. Л. Борисенко, В. А. Снежицкий, А. В. Фролов // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2020. Т. 18, № 3. С. 223-229. <http://dx.doi.org/10.25298/2221-8785-2020-18-3-223-229>.

В настоящее время сердечно-сосудистые заболевания остаются основной угрозой жизни и здоровью людей [1]. Для их выявления применяются разные методы исследования.

Состояние здоровья человека рассматривается неразрывно с условиями его жизни, что формирует основу научного подхода к оценке состояния здоровья с учетом постоянного влияния разного рода внешних воздействий [2].

В клинической практике установлена важность применения анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР) как метода уточнения заболеваний, например, для оценки риска внезапной смерти после острого инфаркта миокарда и выявления ранних признаков развития диабетической нейропатии. Анализ ВСР широко применим в исследовании состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) [3, 4].

Понятие вариабельности сердечного ритма (ВСР) определяют как фактическую изменчивость продолжительности RR-интервалов между последовательными циклами сердечных сокращений за определенный промежуток времени [5].

Предметом анализа изменчивости ритма сердца методами анализа ВСР является запись кардиоритмографии (КРГ). Выделение записи КРГ – компонент большинства современных аппаратно-программных средств длительного кардиомониторинга. Метод основан на детекции желудочковых сокращений (обычно по зубцу R) на ЭКГ, измерении RR-интервалов с дальнейшим математическим анализом полученных значений и вычислением разных показателей и коэффициентов – показателей ВСР [6].

Сердечный ритм находится под постоянным контролем нервной системы, поэтому дисфункции вегетативной и центральной нервной регуляции сопряжены с нарушениями сердечного ритма. Если в такой области существует один источник возбуждения (пейсмейкер), в среде возникают концентрические волны. Если же существует несколько подобных центров, возникает конкуренция между пейсмейкерами, при этом пейсмейкер с большей частотой генерации с течением времени подавляет пейсмейкер меньшей частоты. Появление нескольких источников возбуждения в сердечной мышце обуславливает сердечную аритмию [7].

Ритм сердца как частотно-временной процесс относится к фракталоподобным структурам с характерным для них принципом самоподобия. Это значит, что флуктуации ритма здорового человека, зарегистрированные в разных масштабах времени, выглядят как ветви геометрического фрактала. Данное наблюдение свидетельствует о том, что механизм, управляющий сердечным ритмом, по своей сути относится к хаотическим процессам. Другими словами, частота сердечных сокращений вместо того чтобы стремиться к гомеостатической стабильной величине, может претерпевать значительные флуктуации даже при отсутствии изменений внешних стимулов [7].

Хаотичность сердечного ритма, управляемого нервной системой, придает большую пластичность, необходимую для адаптации к непредсказуемой и изменяющейся внешней среде. При патологии четко проявляется периодичность, сопровождающаяся потерей изменчивости и

устойчивости. Однако метод ВСР корректен лишь для фрагментов сердечного ритма синусового происхождения. При предфибрилляторных состояниях и нагрузках сердечный ритм становится нестационарным и трансформируется в класс нелинейных процессов. Естественно, что в такой ситуации требуются адекватные нелинейные методы [7].

Существует четкая взаимосвязь между состоянием вегетативной нервной системы (ВНС) и смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний. Эта взаимосвязь реализуется через высокую склонность к угрожающим жизни сердечным аритмиям у пациентов с нарушениями ВНС. Недостаточно изучена взаимосвязь вегетативной регуляции с особенностями клинического течения фибрилляции/трепетания предсердий (ФП/ТП), наиболее распространенного нарушения сердечного ритма. Частота госпитализаций по причине этой аритмии составляет 40% от всего количества госпитализаций по поводу нарушений сердечного ритма. Не до конца ясны также механизмы влияния ВНС на запуск, поддержание и персистенцию ФП [8, 9].

Во многих исследованиях показано, что возникновение пароксизмов ФП зависит от изменений вегетативного тонуса. Структурные и электрофизиологические предсердные изменения могут возникать как при продолжительном повышении предсердной частоты, так и при постоянной форме ФП. У пациентов с ФП исследуется состояние ВНС с помощью оценки линейных параметров ВСР. Однако традиционные методы анализа ВСР не в состоянии интерпретировать всю сложность регуляции сердечного ритма, поэтому в литературе имеются сообщения о практическом использовании нелинейного анализа ВСР [8].

Выделяют несколько основных направлений применения методов анализа ВСР [2]:

- оценка функционального состояния (ФС) и его смены определением параметров вегетативного баланса и нейрогуморальной регуляции;
- анализ выраженности адаптационного ответа организма при разных внешних воздействиях (стрессорах);
- анализ состояния отдельных звеньев вегетативной регуляции кровообращения;
- разработка прогностических заключений по результатам оценки текущего ФС, оценки состояния отдельных звеньев регуляторного механизма и выраженности адаптационных ответов организма как реакции на внешнее воздействие [2].

Методы анализа ВСР подразделяются на следующие виды [2]:

- методы, основанные на статистических преобразованиях (статистический анализ, временной анализ, анализ коротких участков по Г. В. Рябыкиной и соавт.);
- геометрические методы анализа сердечного ритма (например, вариационная пульсометрия по Р. М. Баевскому, корреляционная ритмография, анализ дифференциальной гистограммы, оценка купола гистограммы по Л. Н. Лютиковой, методы триангулярной интерполяции и др.);

- методы анализа волновой структуры ритма (визуальный анализ записи КРГ как сигнала ВСР, спектральный анализ ВСР и автокорреляционный анализ ВСР);

- нелинейные методы (например, масштабирование спектра Фурье на $1/f$, Н-масштабирование экспоненты, кластерный спектральный анализ; для визуального представления результатов используются сечение Пуанкаре, графики аттрактора на малом числе измерений, сингулярное разложение и исследование разных видов траекторий аттрактора; для количественного описания характера динамики сердечного ритма применяются D-корреляционные размерности, экспонента Ляпунова и энтропия Колмогорова) [10];

- интегральные методы, основанные на совместном применении нескольких подходов к анализу сердечного ритма, суммарная оценка регуляторных систем и др. [2].

Последние исследования, посвященные различным аспектам анализа ВСР в норме и при разных заболеваниях, показывают, что кроме классических методов анализа сердечного ритма существует стабильная тенденция к изучению ВСР с позиций нелинейного анализа динамики сердечного ритма [11].

Нелинейные методы анализа отличаются от традиционных методов ВСР, потому что они оценивают не величину изменчивости, а качество, масштабирование и корреляционные свойства сигналов [12].

Первым этапом исследования нелинейной динамики ритма сердца считается оценка внешнего вида фазового портрета сердечного ритма. Как известно, устойчивый ритм здорового человека в состоянии покоя имеет признаки детерминированного хаотического процесса, а структура фазового портрета напоминает “ клубок ниток ” (рис. 1) [5].

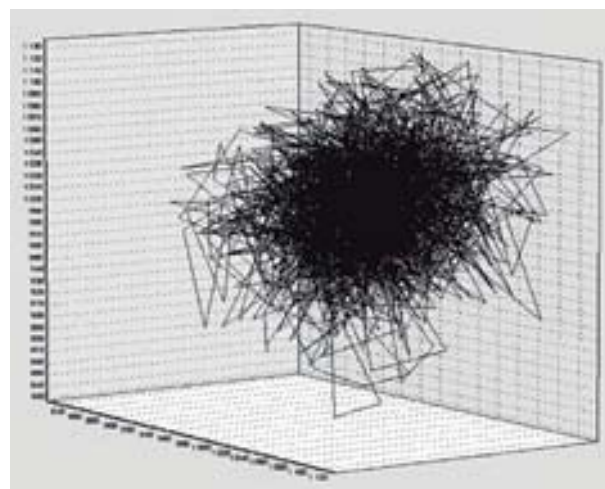


Рисунок 1. – Фазовый портрет синусового ритма практически здорового пациента

Figure 1. – Phase portrait of the sinus rhythm of a healthy patient

Однако у пациентов с такими нарушениями ритма, как АВУРТ, или с синдромом WPW фазовые портреты качественно отличаются от нормы и характеризуются некоторой степенью упрощенности (рис. 2). Можно видеть, что степень упрощенности возрастает от рисунка 2а, где фазовый портрет в форме «веретена», к рисунку 2б, где плотность «веретена» разрежена. Фазовый портрет в форме «веретена» был отмечен у пациентов с АВУРТ, в форме разреженного «клубка ниток» – у пациентов с синдромом WPW [5].

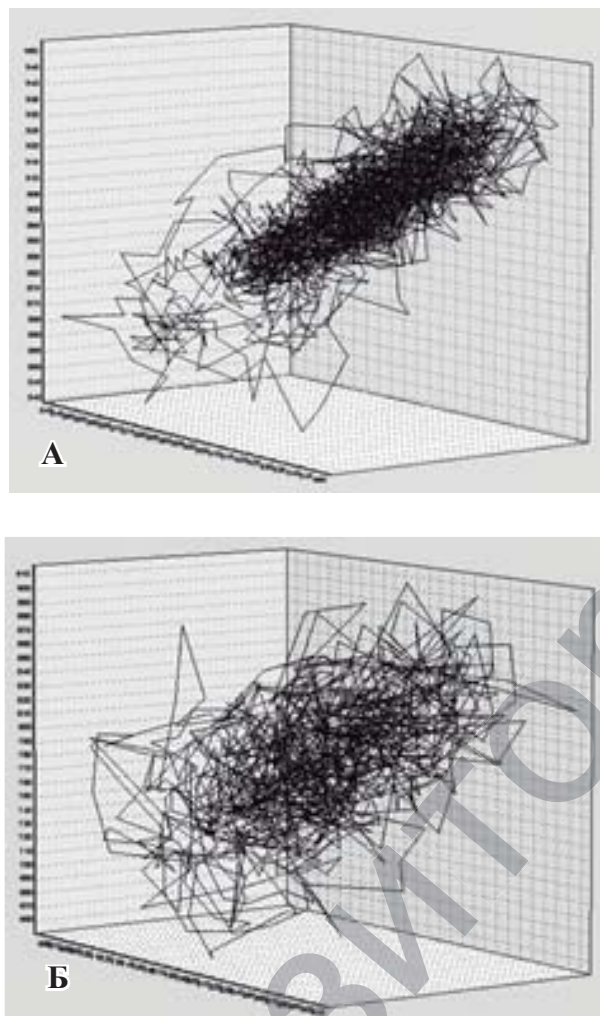


Рисунок 2. – Фазовые портреты синусового ритма у пациентов с нарушениями ритма: а) – с АВУРТ; б) – с синдромом WPW

Figure 2. – Phase portraits of the sinus rhythm in patients with rhythm disturbances: а) with AVNRT; б) – with WPW syndrome

Выявленный характер отличий качественных характеристик неустойчивости и хаотичности динамики сердечного ритма у пациентов с СВРТ от аналогичного показателя у здоровых пациентов свидетельствует об уменьшении глубины хаоса у пациентов с данными нарушениями сердечного ритма [5].

Одно из преимуществ методов теории хаотических систем при анализе ВСР заключается в том, что нелинейные величины не зависят от средних статистических показателей и поэтому

могут выявлять едва уловимые изменения динамики RR-интервалов. Согласно последним публикациям, считается, что методы нелинейной динамики применительно к ВСР могут предоставить важную информацию для физиологической интерпретации variability ритма и оценки риска сердечно-сосудистых заболеваний [5].

Н. Huikuri и соавт. в крупном исследовании DIAMOND, изучавшем смертность пациентов с постинфарктным кардиосклерозом, использовали флуктуационный анализ, позволяющий определить $\alpha(1)$ - и $\alpha(2)$ -экспоненты, которые характеризуют фрактальные свойства коротких и средних отрезков RR-интервалов. Среди всех изучаемых показателей, в том числе относящихся к традиционной методике ВСР, снижение $\alpha(1)$ -экспоненты имело наибольшую точность в предсказании всех случаев смертности [13].

В исследовании Т. Makikallio и соавт. 15 пациентов с нарушениями ритма сердца было установлено, что нелинейный метод оценки ВСР лучше, чем стандартные методы вычисления ВСР, выявляет изменения сердечного ритма у пациентов перед началом фибрилляции желудочков [14].

В работе F. Lombardi показано, что у пациентов с инфарктом миокарда наличие дисфункции левого желудочка связано с достоверно более отрицательной кривой нелинейных частотных отношений $1/f$. Экспонента $1/f$ кривой статистически достоверно коррелировала со степенью дисфункции левого желудочка. Фрактальная размерность по сравнению с группой контроля была меньше у пациентов со сниженной ФВ [5].

Мерой сложности и предсказуемости нестационарных процессов в классическом виде является энтропия по Шеннону. Ценную и наглядную информацию дает нелинейный параметр, известный в зарубежной литературе как $ApEn$ – приближительная энтропия. Методику оценки сложности нерегулярных процессов предложил S. Pincus в 1991 г. Так, для регулярных сигналов ее значение мало, для непредсказуемых, сложных сигналов, наоборот, велико. $ApEn$ служит количественной мерой хаоса сердечного ритма. Таким нарушениям сердечной деятельности, как атриовентрикулярная блокада, ишемия, кардиомиопатия, соответствует более регулярный и предсказуемый тип ритма, характеризуемый меньшим значением энтропии $ApEn$. Для здоровых лиц, наоборот, ритму характерны более случайные флуктуации и, соответственно, большие значения энтропии $ApEn$ [15].

В исследовании А. В. Фролова у 180 пациентов с помощью специально разработанной программы «Бриз-3М» осуществлялась оценка основных параметров ВСР (SDNN, LF/HF линейное) и параметров нелинейной динамики ($ApEn$, LF/HF нелинейное). Наглядно видно (рис. 3-5), что хаосграммы обладают существенными различиями, которые отражают состояние систем регуляции сердечного ритма. Так, у пациентов без структурной патологии сердца и нарушений ритма хаосграмма имеет сглаженную форму

типа “паутина” или “ клубок ниток”, в то время как хаосграмма пациентов с фибрилляцией предсердий имеет больший размах и заостренность. Наоборот, у пациентов с ИБС в сочетании со стенозирующим поражением коронарных артерий хаосграмма отражает тенденцию вырождения в точку. Данные нелинейного анализа показали, что приблизительная энтропия $ApEn$ более низкая у пациентов с ИБС в сочетании со стенозирующим поражением коронарных артерий, а наиболее высокая – у пациентов с фибрилляцией предсердий. Промежуточное значение $ApEn$ в группе здоровых пациентов. Отношение нелинейных волн LF/HF у пациентов с фибрилляцией предсердий выше с высокой степенью достоверности. У пациентов с ИБС отношение LF/HF наиболее низкое [8].

В. А. Снежицкий и соавт. изучили особенность нелинейных параметров ВСР ($ApEn$, $K(HF/LF)$) у пациентов с пароксизмальной/

персистирующей формой ФП, их взаимосвязи с Эхо-показателями, характеризующими структуру и функцию левого предсердия, и с частотой рецидивов ФП у исследуемых пациентов в течение года после госпитализации. Были обследованы 75 пациентов с ФП: из них 48 – с пароксизмальной формой ФП, 27 – с персистирующей формой ФП; 19 пациентов служили контрольной группой с разными формами ИБС и/или АГ без эпизодов ФП в анамнезе. Установлено, что у пациентов с пароксизмальной или персистирующей формами ФП, развившейся на фоне АГ и/или ИБС, значение $ApEn$ значительно ниже, чем у пациентов контрольной группы, и ассоциировано с Эхо-показателями левого предсердия, характеризующими его структуру и функцию; имеет отрицательную корреляционную связь с количеством рецидивов ФП в течение года после госпитализации [15].

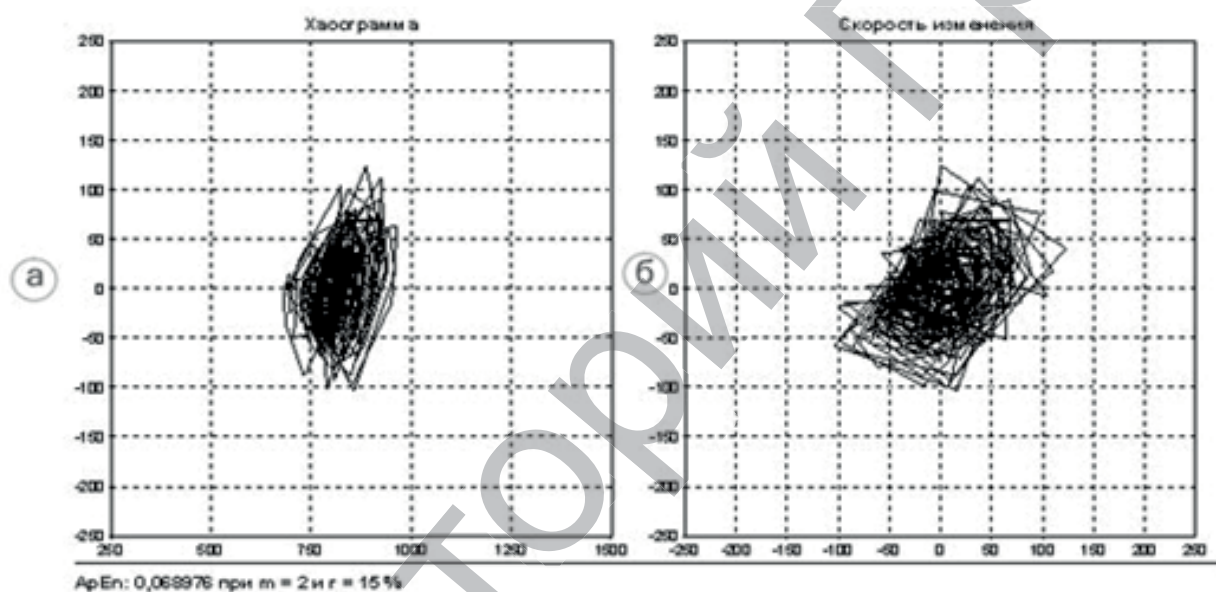


Рисунок 3. – Хаосграмма (а) и динамическая хаосграмма (б) здорового пациента

Figure 3. – The chaosgram (a) and the dynamic chaosgram (b) of a healthy patient

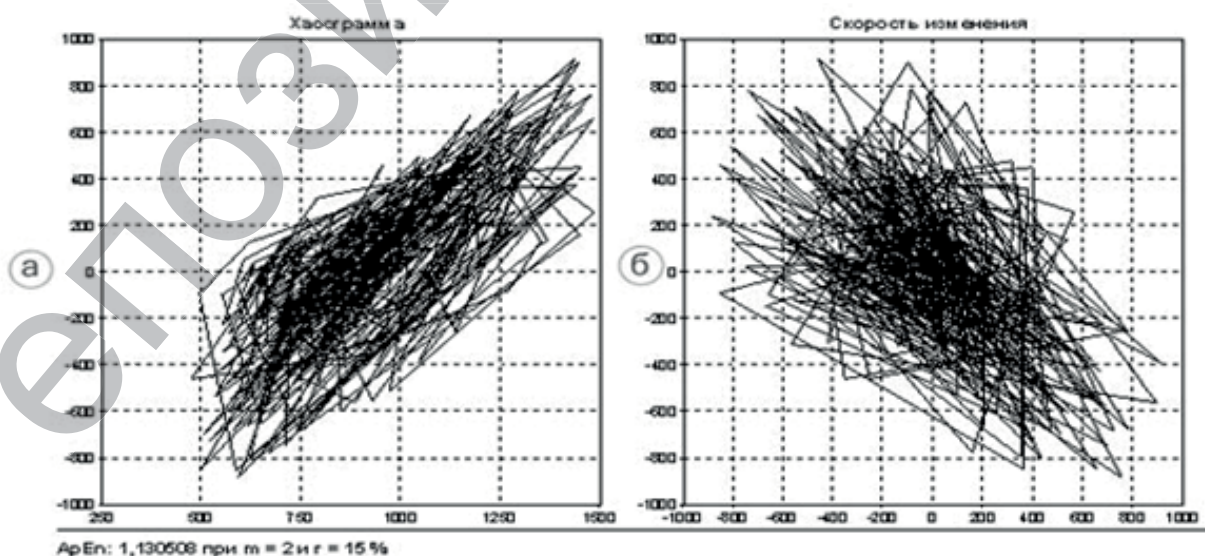


Рисунок 4. – Хаосграмма (а) и динамическая хаосграмма (б) пациента с фибрилляцией предсердий

Figure 4. – Chaosogram (a) and dynamic chaosgram (b) of a patient with atrial fibrillation

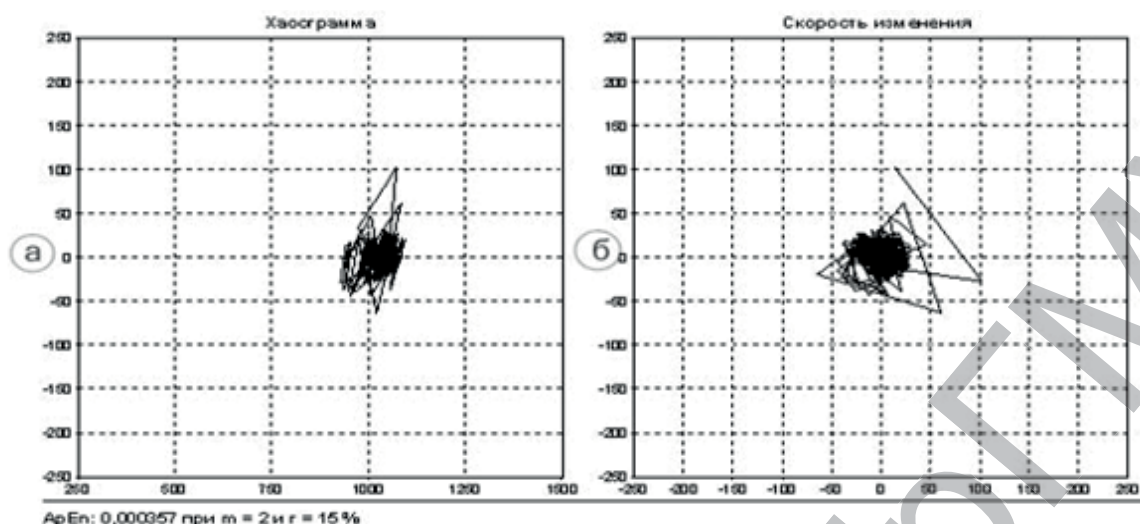


Рисунок 5. – Хаосграмма (а) и динамическая хаосграмма (б) пациента с ИБС, стенокардией напряжения, ФК III, стенозирующим атеросклерозом коронарных артерий

Figure 5. – Chaosogram (a) and dynamic chaosgram (b) of a patient with IHD, angina pectoris, FC III, stenotic atherosclerosis of the coronary arteries

В исследовании S. Vikman и соавт., включавшем пациентов без структурной патологии сердца, выявлено снижение энтропии и изменение фрактальных свойств коротких отрезков RR-интервалов, предшествующих спонтанному пароксизму ФП. Проведенный анализ позволил установить, что энтропия, характеризующая динамику RR-интервалов синусового ритма, избирательно отражает парасимпатическую модуляцию ритма сердца [5].

Результаты исследования G. Krstacic и соавт. нелинейных параметров ВСР у пациентов со стресс-индуцированной кардиомиопатией (синдром Такоцубо, или «синдром разбитого сердца») продемонстрировали значительно более высокие краткосрочные и долгосрочные показатели фрактального масштабирования в остром периоде заболевания. Анализ ВСР в дальнейшем позволил отследить особенности восстановительного периода, дополняя общеклинические исследования [16].

Заключение

Современные методы анализа сердечного ритма, например нелинейный анализ вариабельности сердечного ритма, позволяют по-новому оценить нарушения сердечного ритма с позиции патофизиологических механизмов их возникновения. Инструментальная регистрация изменений амплитуды микроколебаний на ЭКГ позволяет видеть скрытую, донозологическую эволюцию патологических состояний на ранних стадиях. Таким образом, в арсенале врачей имеется современный метод анализа ЭКГ, основанный на оценке параметров ВСР в нелинейной области, что дает полезную информацию для характеристики соответствующего вегетативного баланса, служит надежным маркером осложнений и смертности у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Для клинической практики относительно аритмий это означает контроль антиаритмической терапии и оценку вероятности нарушений синусового ритма.

Литература

1. Архиповский, В. Л. Сердечно-сосудистая патология: распространенность, основные факторы риска / В. Л. Архиповский // Экология человека. – 2007. – № 7. – С. 20-25.
2. Яфаров, А. З. Обзор современных методов анализа вариабельности сердечного ритма в интересах контроля влияния внешних факторов на человека по данным длительного кардиомониторинга / А. З. Яфаров // Российские биомедицинские исследования. – 2017. – № 1. – С. 38-44.
3. Яцкевич, Е. С. Особенности вариабельности ритма сердца у пациентов с пароксизмальной и персистирующей формами фибрилляции-трепетания предсердий / Е. С. Яцкевич, В. А. Снежицкий // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2013. – Т. 2, № 42. – С. 5-9.
4. Вариабельность ритма сердца: применение в кардиологии : монография / В. А. Снежицкий [и др.] ; под общ. ред. В. А. Снежицкого. – Гродно : ГрГМУ, 2010. – 212 с.
5. Ардашев, А. В. Практические аспекты современных методов анализа вариабельности сердечного ритма / А. В. Ардашев, А. Ю. Лоскутов. – Москва : Медпрактика-М, 2010. – 126 с.
6. Березный, Е. А. Практическая кардиоритмография / Е. А. Березный, А. М. Рубин, Г. А. Утехина. – 3-е изд. – Москва : Нео, 2005. – 140 с.
7. Нелинейные аспекты анализа сердечного ритма / А. В. Фролов [и др.] // Функциональная диагностика. – 2009. – № 1. – С. 23-26.
8. Особенности нелинейных параметров вариабельности ритма сердца и их взаимосвязь со структурно-

- функциональным ремоделированием сердца у пациентов с пароксизмальной и персистирующей формой фибрилляции предсердий / В. А. Снежицкий [и др.] // Медицинские новости. – 2014. – № 11. – С. 81-87.
9. Снежицкий, В. А. Методологические аспекты анализа variability сердечного ритма в клинической практике / В. А. Снежицкий // Медицинские новости. – 2004. – № 9. – С. 37-43.
 10. Бокерия, Л. А. Variability сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование / Л. А. Бокерия, О. Л. Бокерия, И. В. Волковская // Анналы аритмологии. – 2009. – № 4. – С. 21-32.
 11. Исследование variability сердечного ритма при анализе аритмий / А. К. Коллюцкий [и др.] // Вестник РУДН. Серия: Медицина. – 2001. – № 2. – С. 113-130.
 12. Beckers, F. Aging and nonlinear heart rate control in a healthy population / F. Beckers, B. Verheyden, A. E. Aubert // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. – 2006. – Vol. 290, № 6. – P. 2560-2570. – doi: 10.1152/ajpheart.00903.2005.
 13. Huikuri, H. V. Measurement of heart rate variability by methods based on nonlinear dynamics / H. V. Huikuri, T. H. Makikallio, J. Perkiomaki // J. Electrocardiol. – 2003. – Vol. 36. – P. 95-99. –
 14. Heart rate dynamics before spontaneous onset of ventricular fibrillation in patients with healed myocardial infarcts / T. Makikallio [et al.] // Am. J. Cardiol. – 1999. – Vol. 83, № 6. – P. 880-884.
 15. Прогностическая значимость и взаимосвязь аппроксимированной энтропии сердечного ритма с клиническим течением пароксизмальной и персистирующей форм фибрилляции предсердий / В. А. Снежицкий [и др.] // Кардиология в Беларуси. – 2015. – № 2. – С. 50-60.
 16. Heart rate variability and nonlinear dynamic analysis in patients with stress-induced cardiomyopathy / G. Krstacic [et al.] // Med. Biol. Eng. Comput. – 2012. – Vol. 50, № 10. – P. 1037-1046. – doi: 10.1007/s11517-012-0947-z.
- References**
1. Arhipovskij VL. Serdechno-sosudistaja patologija: rasprostranennost, osnovnye faktory riska. *Jekologija cheloveka*. 2007;7:20-25. (Russian).
 2. Jafarov AZ. Obzor sovremennyh metodov analiza variability serdechnogo ritma v interesah kontrolja vlijaniya vneshnih faktorov na cheloveka po dannym dlitel'nogo kardiomonitoringa [Review of modern methods of heart rate variability analysis for monitoring external factors impact on a human according to the continuous cardiac monitoring data]. *Rossijskie biomedicinskie issledovanija*. [Russian biomedical research]. 2017;(1):38-44. (Russian).
 3. Yackevich ES, Snezhitskiy VA. Osobennosti variability ritma serdca u pacientov s paroksizmalnoj i persistirujushhej formami fibrilljaciej-trepetanija predserdij [Features of heart variability in patients with paroxysmal and persistent atrial fibrillation/atrial flutter]. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta* [Journal of the Grodno State Medical University]. 2013;2(42):5-9. (Russian).
 4. Snezhitskiy VA, editor; Snezhitskiy VA, Shishko VI, Pelesa ES, Zuhovickaya EV, Dzeshka MS. Variablnost ritma serdca: primenenie v kardiologii [Heart rate variability: application in cardiology]. Grodno: GrSMU; 2010. 212 p. (Russian).
 5. Ardashev AV, Loskutov AYU. Prakticheskie aspekty sovremennyh metodov analiza variability serdechnogo ritma [Practical aspects of modern methods for analyzing heart rate variability]. Moscow: Medpraktika-M; 2010. 126 p. (Russian).
 6. Bereznyj EA, Rubin AM, Utehin GA. Prakticheskaja kardiografija [Practical cardiac rhythmography]. 3rd ed. Moskva: Neo; 2005. 140 p. (Russian).
 7. Frolov AV, Radchuk VYa, Gul LM, Gonchar IA. Frolov AV. Nelinejnye aspekty analiza serdechnogo ritma [Nonlinear aspects of heart rate analysis]. *Funkcionalnaja diagnostika* [Functional diagnostics]. 2009;1:23-26.
 8. Snezhitskiy VA, Yackevich ES, Dolgoshej TS, Snezhitskaya EA, Madekina GA, Rubinskij AYU. Osobennosti nelinejnyh parametrov variability ritma serdca i ih vzaimosvjaz so strukturno-funkcionalnym remodelirovaniem serdca u pacientov s paroksizmalnoj i persistirujushhej formoj fibrilljaciej predserdij [The features of non-linear parameters of heart rate variability and its relationship with the structural and functional heart remodeling in patients with paroxysmal and persistent atrial fibrillation]. *Medicinskie novosti* [Medical news]. 2014;11:81-87. (Russian).
 9. Snezhitskiy VA. Metodologicheskie aspekty analiza variability serdechnogo ritma v klinicheskoy praktike [Methodological aspects of the analysis of heart rate variability in clinical practice]. *Medicinskie novosti* [Medical news]. 2004;4:5-8. (Russian).
 10. Bokerija LA, Bokeriya OL, Volkovskaja IV. Variablnost serdechnogo ritma: metody izmerenija, interpretacija, klinicheskoe ispolzovanie [Heart rate variability: methods, interpretation, clinical use]. *Annaly aritmologii* [Annals of arrhythmology]. 2009;4:21-32. (Russian).
 11. Kolyuckii AK, Ivanov GG, Dvornikov VE, Gribanov AN, Juzef H, Rehviachvili MV, Kotlarova LV, Turin AV, Shumilova KM. Issledovanie variability serdechnogo ritma pri analize aritmij [Investigation heart rate variability in patients with arrhythmias]. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serija: Medicina* [RUDN Journal of Medicine]. 2001;2:113-130. (Russian).
 12. Beckers F, Verheyden B, Aubert AE. Aging and nonlinear heart rate control in a healthy population. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol*. 2006;290(6):2560-2570. doi: 10.1152/ajpheart.00903.2005.
 13. Huikuri HV, Makikallio TH, Perkiomaki J. Measurement of heart rate variability by methods based on nonlinear dynamics. *J. Electrocardiol*. 2003;36:95-99.
 14. Makikallio TH, Koistinen J, Jordaens L, Tulppo MP, Wood N, Golosarsky B, Peng CK, Goldberger AL, Huikuri HV. Heart rate dynamics before spontaneous onset of ventricular fibrillation in patients with healed myocardial infarcts. *Am. J. Cardiol*. 1999;83(6):880-884.
 15. Snezhitskiy VA, Yackevich ES, Smirnov VJu, Dolgoshej TS, Snezhickaja EA, Madekina GA. Prognosticheskaja znachimost i vzaimosvjaz approksimirovannoj jentropii serdechnogo ritma s klinicheskim techeniem paroksizmalnoj i persistirujushhej form fibrilljaciej predserdij [The prognostic value and relations of the approximate entropy of heart rate with clinical course of paroxysmal and persistent atrial fibrillation]. *Kardiologija v Belarusi* [Cardiology in Belarus]. 2015;(2):50-60. (Russian).
 16. Krstacic G, Parati G, Gamberger D, Castiglioni P, Krstacic A, Steiner R. Heart rate variability and nonlinear dynamic analysis in patients with stress-induced cardiomyopathy. *Med. Biol. Eng. Comput*. 2012;50(10):1037-1046. doi:10.1007/s11517-012-0947-z.

CLINICAL SIGNIFICANCE OF NON-LINEAR PARAMETERS OF THE HEART RATE VARIABILITY IN PATIENTS WITH CARDIOVASCULAR DISEASES

Barysenka T. L., Snezhitskiy V. A., Frolov A. V.

Grodno State Medical University, Grodno, Belarus

Republican Scientific and Practical Centre "Cardiology", Minsk, Belarus

Heart rate variability (HRV) is understood as the severity of fluctuations in heart rate or RR-intervals in relation to their average values. HRV is defined as the actual variability of the duration of the RR-intervals between consistent heart contraction cycles for a certain period of time. Traditional methods for analyzing heart rate variability are often insufficient to characterize the complex heartbeat dynamics, since the mechanisms involved in the regulation of the cardiovascular system are likely to interact with each other in a non-linear manner. The article represents data on the association between non-linear parameters of heart rate variability in patients with cardiovascular diseases. It can be concluded, that the non-linear analysis of HRV provides useful information for characterizing the autonomic balance and is a reliable marker of complications and mortality in patients with cardiovascular diseases.

Keywords: cardiovascular diseases, heart rate variability, non-linear analysis.

For citation: Barysenka TL, Snezhitskiy VA, Frolov AV. The clinical significance between non-linear parameters of the heart rate variability in patients with cardiovascular diseases. *Journal of the Grodno State Medical University*. 2020;18(3):223-229. <http://dx.doi.org/10.25298/2221-8785-2020-18-3-223-229>.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Об авторах / About the authors

*Борисенко Татьяна Леоновна / Borisenko Tatyana, e-mail: t.kepourko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7117-2182

Снежицкий Виктор Александрович / Snezhitskiy Viktor, e-mail: snezh@grsmu.by, ORCID: 0000-0002-1706-1243

Фролов Александр Владимирович / Frolov Alexander, e-mail: Frolov.Minsk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7470-6992

* – автор, ответственный за переписку / corresponding author

Поступила / Received: 24.03.2020

Принята к публикации / Accepted for publication: 15.05.2020