

# МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПО ДАННЫМ ЭКГ: ВАРИАбельНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И ДИСПЕРСИОННОЕ КАРТИРОВАНИЕ (Обзорная статья)

Е.М. Новиков<sup>1\*</sup>, С.В. Стеблецов<sup>1</sup>, В.Н. Ардашев<sup>1,2</sup>, Т.Б. Кириллова<sup>1</sup>, Н.Б. Тарабарина<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ФГБУ «Клиническая больница №1» УД Президента РФ, Москва,  
<sup>2</sup>ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» УД Президента РФ, Москва

## ECG-BASED INVESTIGATION METHODS: HEART RATE VARIABILITY AND DISPERSION MAPPING (Literature review)

E.M. Novikov<sup>1\*</sup>, S.V. Stebletsov<sup>1</sup>, V.N. Ardashev<sup>1,2</sup>, T.B. Kirillova<sup>1</sup>, N.B. Tarabanina<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Clinical hospital №1 of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia,  
<sup>2</sup>Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia

E-mail: dr.enovikov@gmail.com

### Аннотация

В статье приводятся данные литературы о современных методах исследования электрической активности сердца — дисперсионном картировании ЭКГ, вариабельности сердечного ритма, частотных характеристиках высших вегетативных центров. Эти методы сегодня широко используются для оценки электрической нестабильности миокарда и являются существенным дополнением к стандартным методам оценки ЭКГ.

**Ключевые слова:** ЭКГ, дисперсионное картирование, вариабельность сердечного ритма, электрическая нестабильность миокарда.

### Abstract

The article presents a review of literature data on modern methods for investigating the electrical activity of the heart: ECG dispersion mapping, heart rate variability, frequency characteristics of higher autonomic centers. These methods are widely used today to assess the electrical instability of the myocardium and are a significant addition to standard methods for assessing ECG.

**Key words:** ECG, dispersion mapping, heart rate variability, electrical myocardial instability.

*Ссылка для цитирования: Новиков Е.М., Стеблецов С.В., Ардашев В.Н., Кириллова Т.Б., Тарабарина Н.Б. Методы исследования сердечного ритма по данным ЭКГ: вариабельность сердечного ритма и дисперсионное картирование (Обзорная статья). Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2019; 4: 81-89.*

Электрокардиография является достоверным методом исследования нарушений сердечного ритма и широко используется в клинической практике. Разработка методов суточного мониторинга ЭКГ, различных математических методов обработки ЭКГ-сигнала является актуальной задачей современной кардиологии [1]. Современные методы анализа сердечного ритма: вариабельность сердечного ритма, частотные характеристики, дисперсионное картирование — позволяют по-новому оценить нарушения сердечного ритма с позиции патофизиологических механизмов их возникновения.

В последнее время конечная часть желудочкового комплекса рассматривается как показатель изменения функционального состояния миокарда

на уровне метаболизма. В настоящее время известно, что изменения ЭКГ развиваются как результат уже возникших в миокарде метаболических сдвигов, что нередко проявляется в виде аритмий, изменений зубца Т или сегмента ST [1].

Инструментальная регистрация изменений амплитуды микроколебаний на ЭКГ позволяет видеть скрытую, донозологическую эволюцию патологических состояний на ранних стадиях. Для классической ЭКГ низкоамплитудные колебания ЭКГ в последовательных сокращениях недоступны из-за высокого фонового уровня шума регистрации поверхностной ЭКГ, который перекрывает «полезный сигнал» (рис. 1). Хронологически первым технологическим решением данной проблемы были регистраторы поздних потен-



Рис. 1. ЭКГ пациента с фибрилляцией предсердий в анамнезе. Регистрируется частая предсердная экстрасистолия (исходная ЭКГ для анализа).

циалов желудочков на ЭКГ, выполнявшие количественный анализ микроколебаний ЭКГ в финальной части *QRS* за счет расширения полосы пропускания обрабатываемого сигнала. Несколько позже появились приборы для анализа микроальтернаций зубца *T* (MTWA — microvolt T-wave alternans), анализирующие микроколебания интервала *ST* на ЭКГ. К наиболее современным методам относится анализ турбулентности сердечного ритма, сигнал-усредненный метод и метод дисперсионного картирования ЭКГ [2-4].

Одним из способов комплексной оценки происходящих в миокарде изменений является двухкомпонентный анализ, включающий в себя дисперсионное картирование ЭКГ (цифровая ЭКГ высокого разрешения, с помощью которой производится измерение изменений, происходящих на уровне клеточных мембран микроколебаний электрического потенциала в несколько десятков микровольт, что в сотни раз меньше амплитуды стандартного электрокардиографического сигнала) с одновременным анализом сердечного ритма, что позволяет комплексно оценить взаимодействие процессов вегетативной регуляции с энергетическими процессами в миокарде. Этот подход помогает выявлению самых начальных нарушений энергетики и обмена веществ в миокарде [5, 6].

С помощью метода дисперсионного картирования ЭКГ выявляются изменения де- и реполяризационных свойств миокарда, его метаболические

расстройства, а на основании результатов вариабельности сердечного ритма определяются следующие показатели вегетативной регуляции кровообращения: (1) состояние симпатического и парасимпатического звеньев системы вегетативной регуляции кровообращения; (2) активность подкоркового сердечно-сосудистого центра; (3) состояние системы артериального давления; (4) степень синхронизации показателей сердечно-сосудистой деятельности; (5) степень участия высших вегетативных центров (надсегментарных структур головного мозга) в регуляции кровообращения [7].

### 1. Вариабельность сердечного ритма

Структуру сердечного ритма как диагностический критерий стали использовать в СССР в начале 1960-х годов. Впервые эта методика была предложена для оценки вегетативной регуляции и состояния организма человека в космических полетах В.В. Париным и Р.М. Баевским [8].

В конце 1960-х годов И.Г. Нидеккер и Р.М. Баевский предложили метод спектрального анализа ритма сердца для оценки периодических составляющих сердечного ритма.

Последующий бурный технический прогресс и совершенствование электронно-вычислительных машин поспособствовали автоматизации выполнения методики и ее широкому распространению в клинической практике в космической медицине, кардиологии, хирургии, физиологии труда и спорта, экспериментальной физиологии. Это привело к

необходимости разработки единых стандартов выполнения и расчета показателей методики.

В 1996 г. рабочая группа Европейского кардиологического общества и Американского общества стимуляции и электрофизиологии совместно подготовили и опубликовали рекомендации по практическому использованию вариабельности сердечного ритма (ВСР) [9].

Согласно определению методических рекомендаций группы российских экспертов анализ вариабельности сердечного ритма является методом оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека и животных, в частности общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами нервной системы [10].

В настоящее время рекомендовано исследование ВСР в 5-минутных записях ЭКГ как альтернатива 24-часовой. Установлено, что такие короткие записи являются стабильными на протяжении месяцев и, соответственно, имеют высокую воспроизводимость. Индивидуальные особенности мощности волн сердечного ритма, особенно высокочастотной составляющей (HF), довольно стойкие и выявляются при повторных исследованиях через несколько недель и месяцев [11, 12].

Количественную оценку нервных и гуморальных влияний на сердечный ритм осуществляют вычислением различных показателей, отражающих изменчивость интервалов *RR*. Способы, которыми она описывается, можно разделить на анализ во временной и частотной составляющей [13-16].

**Статистические методы** анализа применяются для количественной оценки вариабельности сердечного ритма в исследуемый промежуток времени, при котором кардиоинтервалограмма рассматривается как совокупность последовательных временных промежутков – интервалов *RR* [17-19].

К ним относят такие показатели, как SDNN, CV, RMSD, pNN 50 (%).

SDNN – это суммарный показатель вариабельности интервалов *RR* в миллисекундах (*NN* – означает ряд нормальных интервалов *normal to normal* с исключением экстрасистолии), при отсутствии патологии равный 40-80 мс. Увеличение данного показателя указывает на преобладание парасимпатических влияний на сердечный ритм, снижение его – на преобладание симпатической нервной системы.

*CV* – коэффициент вариации, представляющий нормированную оценку SDNN и определяется по формуле  $CV = \frac{SDNN}{M * 100}$ , где *M* – это среднее значение интервалов *RR*.

Для оценки разницы между двумя *NN*-интервалами (нормальные интервалы *RR*) используют показатели RMSD и pNN 50 (%).

RMSD – это квадратный корень из суммы квадрата разницы величин последовательных пар интервалов *NN*, отражающий парасимпатическую активность вегетативной регуляции: чем выше RMSD, тем активнее звено парасимпатической регуляции. В покое этот показатель имеет референтные значения 20-50 мс.

Аналогичную информацию можно получить, проанализировав pNN 50 (%), который показывает процент *NN*-интервалов от общего количества всех последовательных пар интервалов в записи, различающихся более чем на 50 мс.

Геометрические методы оценивают форму и параметры распределения *RR*-интервалов за исследуемый промежуток времени с помощью построения вариационной кривой (кривая распределения кардиоинтервалов и гистограмма *RR*-интервалов, рис. 2) и оценки таких характеристик, как мода (*Mo*), амплитуда моды (*AMo*), вариационный размах (*MxDMn*) и индекс напряжения регуляторных систем (стресс-индекс) [20].

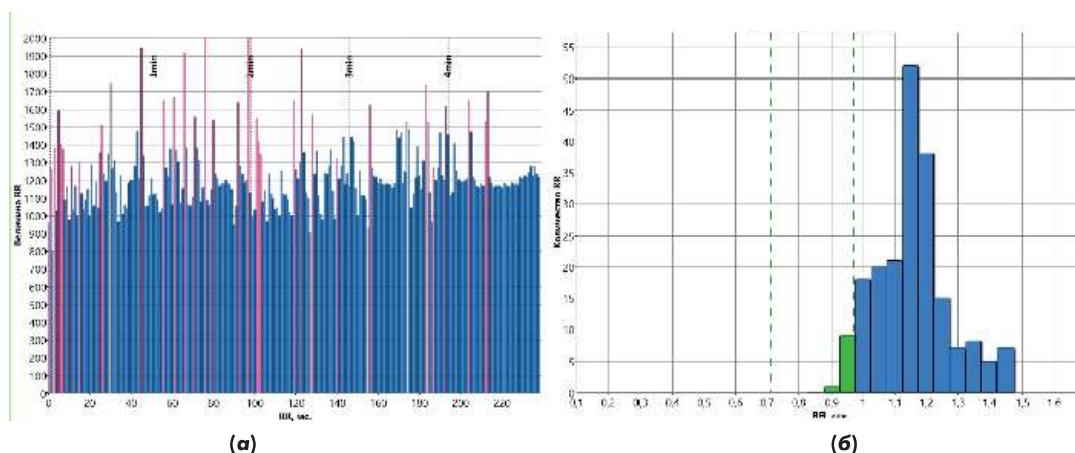


Рис. 2. Кардиоинтервалограмма (а) и гистограмма (б) *RR*-интервалов.

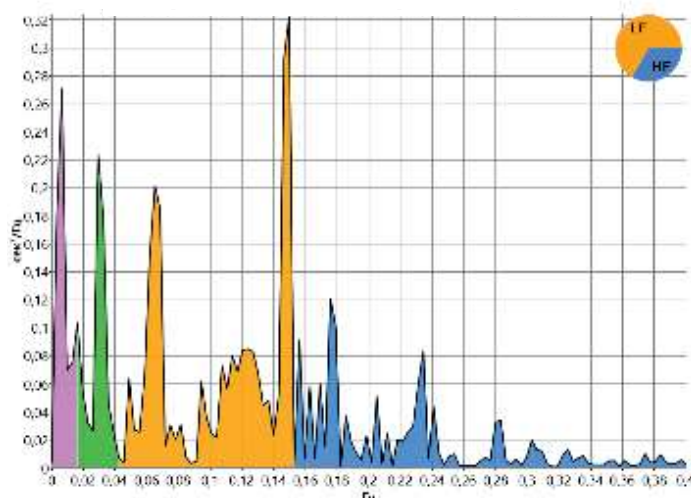


Рис. 3. Спектральный анализ сердечного ритма.

Мода — это наиболее часто встречающееся значение кардиоинтервала в исследуемой записи. Амплитуда моды — это процент кардиоинтервалов, соответствующих моде, к всему объему выборки. Вариационный размах — это разность между максимальным и минимальным *RR*-интервалом в исследуемом динамическом ряду.

С помощью вариационной пульсометрии вычисляется индекс напряжения регуляторных систем (стресс-индекс):  $ИН = \frac{АМо}{2Мо * МхDMn}$ . Данный

индекс характеризует активность механизмов симпатической регуляции и представляет собой количественное отношение высоты гистограммы к ее ширине. В условиях покоя у здоровых людей он равен 80-150 условных единиц [21].

**Спектральные методы** анализа (рис. 3) позволяют количественно оценить частотные составляющие колебаний ритма сердца с помощью вычисления мощности колебаний *NN*-интервалов непараметрическим (быстрое преобразование Фурье) и параметрическим (авторегрессия) методами [22, 23].

При спектральном анализе оценивается вклад тех или иных периодических составляющих в динамические изменения длительности *RR*-интервалов. Ими могут быть:

1. Высоочастотные колебания (0.15-0.40 Гц, High Frequency — HF), в основном характеризующие влияние парасимпатического отдела вегетативной нервной системы на сердечный ритм. Обычно HF составляет 15-25% от суммарной мощности спектра. Снижение этой доли менее 10% указывает на выраженное преобладание симпатического тонуса.
2. Низкочастотные колебания (0.04-0.15 Гц, Low Frequency — LF или вазомоторные волны, мед-

ленные волны I порядка), преимущественно отражающие воздействие симпатического отдела вегетативной нервной системы на сердечный ритм. Составляют 15-40% от суммарной мощности спектра.

3. Очень низкочастотные колебания (0.0033-0.04 Гц, Very Low Frequency — VLF, медленные волны II порядка), обусловленные гуморальными влияниями на сердечный ритм. В норме составляют 15-35% от суммарной мощности спектра.
4. Ультранизкочастотные колебания (0.00003-0.0033 Гц, Ultra-Low Frequency — ULF, медленные волны III порядка) недостаточно изучены, предположительно отражают нейрогуморальный и метаболический уровень регуляции деятельности синусового узла. Учитывая недостаточную изученность, рутинно не анализируются и не включаются в процентную оценку суммарной мощности спектра.

По данным спектрального анализа сердечного ритма вычисляется **индекс централизации**:

$$IC = \frac{HF+LF}{VLF}, \text{ в норме равный от 2 до 8 единиц, а}$$

также **индекс вагосимпатического взаимодействия**  $HF+LF$ , равный 0.5-2.0.

**Автокорреляционный анализ** (рис. 4) используется для оценки сердечного ритма как случайного процесса, является качественным анализом сердечного ритма и представляет собой график динамики коэффициентов корреляции, по данным которого можно судить о влиянии на автономную нервную систему сердца центрального звена [24]. Автокорреляционная функция представляет собой график динамики коэффициентов корреляции, получаемых при последовательном смещении анализируемого динамического ряда на одно число по

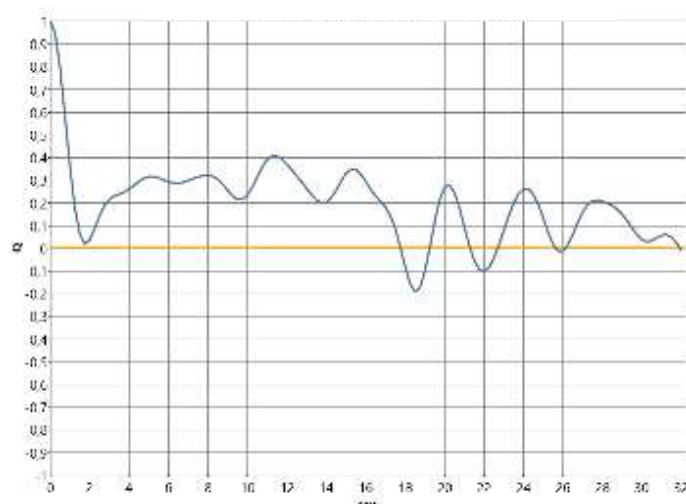


Рис. 4. Автокорреляционная функция.

отношению к своему собственному ряду, позволяющий судить о скрытой периодичности сердечного ритма. В качестве количественных показателей используется  $C1$  — коэффициент корреляции после первого сдвига и  $C0$  — число сдвигов, в результате которого значение коэффициента корреляции становится отрицательным.

**Корреляционная ритмография (скаттерография)** — это графическое отображение последовательных пар кардиоинтервалов (предыдущего и последующего) в двухмерной координатной плоскости (рис. 5). При этом по оси абсцисс откладывается  $R-R_n$ , а по оси ординат —  $R-R_{n+1}$ . Благодаря данному методу можно оценить активность симпатической нервной системы по отношению к сердцу при аритмиях, когда методы статистического и спектрального анализа variability сердечного ритма малоинформативны или неприемлемы. У здорового человека на скаттерограмме область точек полученных значений

на графике будет вытянута в виде эллипса вдоль биссектрисы.

Учитывая многообразие методов и параметров variability сердечного ритма Р.М. Баевским была разработана формула интегральной, комплексной оценки функциональных состояний организма по данным variability сердечного ритма, получившая название «показатель активности регуляторных систем» (ПАРС). Он вычисляется в баллах по специальному алгоритму и отражает степень напряжения регуляторных систем, позволяя оценивать адаптационные возможности организма. Данный показатель, оцениваемый в баллах от 1 до 10, используется в космической и клинической медицине как метод донозологической диагностики срыва адаптации организма, а также для градации уровня здоровья у людей [25–27].

Вариability сердечного ритма характеризует взаимосвязь симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы и

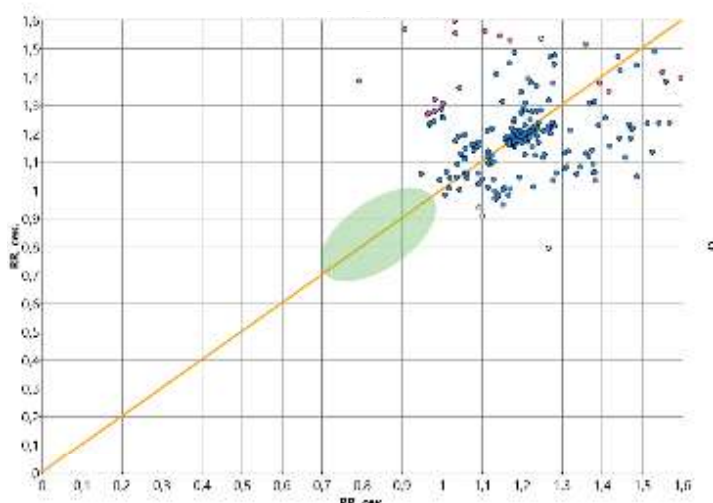


Рис. 5. Скаттерограмма.

отражает степень напряжения регуляторных механизмов. Эти изменения носят физиологический характер и свойственны здоровому человеку, однако при некоторых патологических состояниях они специфичны. Так, при остром инфаркте миокарда мы выявляли четкое снижение вариабельности сердечного ритма, соответствующее тяжести инфаркта миокарда. При ишемическом инсульте нами выявлены достоверные повышения частотных характеристик ритма сердца, связанных с высшими вегетативными центрами. При заболеваниях щитовидной железы также выявлены специфические изменения вариабельности сердечного ритма [28].

## 2. Дисперсионное картирование ЭКГ

Принцип метода дисперсионного картирования ЭКГ основан на анализе случайных низкоамплитудных колебаний (дисперсий) на протяжении всего кардиоцикла. Он позволяет оценить характер и степень нарушений электрофизиологических свойств разных отделов миокарда, определить тяжесть течения и прогноз заболевания, оптимизировать тактику проводимой терапии [29-31].

В данной методике динамику средних амплитуд измеряемых микроколебаний на протяжении PQRST-комплекса отражают финальные дисперсионные характеристики (рис. 6). Для вычисления этих характеристик синхронизируют несколько последовательных кардиоциклов (способ «от удара к удару») и в каждом из них выполняют регистрацию микроколебаний (измерение разности между синхронными значениями амплитуд в текущем и предыдущем однотипном участке ЭКГ, например в T-зубце) и расчетных характеристик, которые используются для косвенной характеристики оценки амплитуды микроальтераций ЭКГ на заданных интервалах PQRST-комплекса.

Число выбранных интервалов анализа кардиоцикла равно числу дисперсионных характеристик, которые определяют автоматическое заключение. Таким образом, очень большие входные массивы данных в дисперсионном картировании ЭКГ сворачиваются до небольшой числовой сигнатуры

(обычно используют девять групп). Внутри каждого интервала анализа финальные дисперсионные характеристики имеют вид функций времени, характеризующих в каждый момент времени усредненные амплитуды микроколебаний ЭКГ. Эти девять групп включают в себя дисперсионные отклонения при деполяризации правого и левого предсердия (G1 и G2), при завершении деполяризации правого и левого желудочков (G3 и G4), их реполяризации (G5 и G6), микроколебания симметрии деполяризации желудочков в средней части комплекса QRS (G7), нарушения внутрижелудочковой проводимости (G8), а также микроколебания показателя симметрии деполяризации желудочков в начальной части комплекса QRS (G9).

По способу измерения каждому дисперсионному индексу G1-G9 соответствует определенная гистограмма чувствительности по интервалу времени измерения, т.е. каждому из этих индексов соответствует определенный интервал PQRST-комплекса. G1 и G2 соответствуют времени P-зубца. С достоверной вероятностью 0.95 между основными желудочковыми индексами и интервалами QRS-комплекса или T-зубца длительностью ~ 90 мс существует следующее соответствие: G3,4 ~ 60-90 мс от начала R, G5,6 = интервал ST, G7 ~ 40-70 мс от начала R, G8 = 0-90 мс от начала R, G9 ~ 0-40 мс от начала R.

Интегральный показатель локальных индексов G1-G9 получил название «индекс микроальтераций миокарда» (ИММ), рассчитываемый по формуле  $ИММ = \frac{ЧСС(1-\langle F \rangle)}{K1}$ , где K1 –

масштабный коэффициент, обеспечивающий условие положительности относительной свободной энергии  $\langle F \rangle$  так, чтобы  $K1 * \frac{ИММ}{ЧСС}$  было

меньше 1.0. Он исчисляется в шкале от 0 до 100%, в которой значения до 15% считаются нормальными, до 20% – повышенными, а более 20% – патологическими. ИММ является относительной величиной и характеризует интегральную степень структурных и электрофизиологических отклонений от



Рис. 6. Пример заключения дисперсионного картирования ЭКГ. Дисперсионная карта миокарда.

нормы, сходную по динамике изменений с энтропией миокарда. Следует обратить внимание, что получаемая величина именно сходна, а не эквивалентна энтропии миокарда. Относительная шкала, используемая при определении ИММ, выбирается исключительно из соображений максимальной алгоритмической устойчивости расчета, а не близости к истинной величине энтропии, если бы имелась возможность ее непосредственного измерения. Чем больше значение ИММ, тем значительней текущее состояние миокарда отличается от нормы [32].

Индекс «ритм» рассчитывается на основе алгоритма Баевского для показателя ПАРС и позволяет оценить текущее состояние регулирования ритма сердца по показателям variability  $RR$ -интервалов.

Для адекватного определения текущего состояния миокарда и прогноза необходимо знать не только текущий запас свободной энергии, но и состояние электрической устойчивости колебательно-электрохимического механизма миокарда. Увеличить достоверность оценки и прогноза электрической нестабильности миокарда можно на основе совместного использования анализа амплитуды микроальтернаций ЭКГ синхронно с анализом показателей variability сердечного ритма, так как это позволит комплексно учитывать и функциональную дезадаптацию миокарда, и систему регулирования ритма сердца. Одна из схем такого комплексного подхода реализована в дисперсионном картировании ЭКГ, где величина ИММ анализируется совместно с показателями variability сердечного ритма по алгоритму А. Сула и Р.М. Баевского, что позволило улучшить вероятностный оперативный прогноз электрической нестабильности [33].

Индекс электрической нестабильности миокарда (рис. 7) — это двухмерный индикатор, на оси  $X$  которого располагается показатель variability сердечного ритма в виде безразмерного «парного коэффициента вариации  $RR$ » (ПКВ), а на оси  $Y$

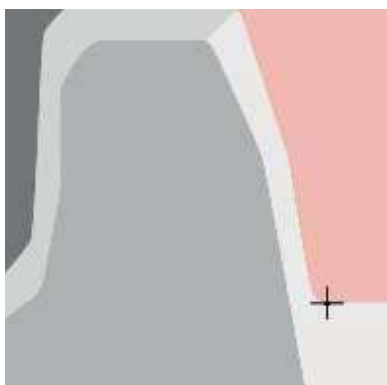


Рис. 7. Индикатор электрической нестабильности миокарда.

— величина амплитуды микроальтернаций  $T$ -зубца (TWA) в микровольтах, являющаяся основной частью ИММ (так как TWA является алгоритмической компонентой ИММ, определяющейся в процессе расчета дисперсионных индексов G3-G6).

Величина ПКВ =  $\frac{100 \cdot SDNN}{RR_{cp}}$ , где SDNN — стандартное отклонение  $RR$ -интервалов, а  $RR_{cp}$  — среднее время между смежными  $R$ -зубцами на ЭКГ [34].

В существующей реализации метода дисперсионного картирования ЭКГ плоскость индикатора электрической нестабильности (ИЭН) миокарда была разбита на пять дискретных областей: ИЭН 1 — область электрической устойчивости миокарда (зеленый цвет), ИЭН 2 — пограничная область для желудочковой аритмии (желтый цвет), ИЭН 3 — область большой вероятности желудочковой аритмии (красный цвет), ИЭН 4 — пограничная область для наджелудочковых аритмий (желтый цвет), ИЭН 5 — область большой вероятности наджелудочковой аритмии (красный цвет).

Традиционный подход к оценке электрогенератора сердца как диполя заменен в теории дисперсионного картирования на принципиально новый метод оценки мультиполярных эффектов. По мнению электрофизиологов [35], эти эффекты несут лишь 5-10% информации об электрических процессах в мышце сердца, однако именно они дают информацию об очаговых изменениях в миокарде. Эти данные указывают на ценность дисперсионного картирования как дополнительного метода оценки ЭКГ-сигнала [36-39].

### Заключение

Подводя итоги, можно сказать, что в арсенале врачей появился принципиально новый метод анализа ЭКГ, основанный на оценке мультиполярных эффектов миокарда и влияния нервной регуляции сердечного ритма. Это дает возможность выявить ранние нарушения метаболизма миокарда и своевременно принять диагностические и/или лечебные меры по профилактике и коррекции патологических состояний. Совокупность использования дисперсионного картирования ЭКГ и variability сердечного ритма позволила ввести новый индекс, показывающий предуготовленность сердца к развитию желудочковых и наджелудочковых событий, — индекс электрической нестабильности миокарда. Для клинической практики относительно аритмий это означает контроль антиаритмической терапии и оценку вероятности срыва синусового ритма.

## Литература

1. Баевский Р.М. Современные проблемы космической кардиологии. *Авиакосмическая и авиационная медицина*. 2008; 6:19-31. [Baevsky R.M. The present-day issues of space cardiology. *Aviakosm. Ekolog. Med. (Aerospace and Environmental Medicine)*. 2008; 6:19-31. In Russian].
2. Oeff M., Leitner E.R., Sthapit R. et al. Methods for non-invasive detection of ventricular late potentials — a comparative multicenter study. *Eur. Heart J.* 1986; 7: 25-33. doi:10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a061953.
3. Lander P., Barbari E.J., Rajagopalan C.V. et al. Critical analysis of the signal-averaged electrocardiogram. Improved identification of late potentials. *Circulation*. 1993; 87: 105-117. doi:10.1161/01.cir.87.1.105.
4. Aroundas A.A., Tomaselli G.F., Esperer H.D. Pathophysiological basis and clinical application of T-wave alternans. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2002; 40: 207-217. doi:10.1016/s0735-1097(02)01960-5.
5. Сула А.С., Рябыкина Г.В., Гришин В.Г. Метод дисперсионного картирования ЭКГ. *Биофизические основы метода дисперсионного картирования*. Под ред. Грачева С.В., Иванова Г.Г., Сыркина А.Л. М.: Техносфера, 2007. с. 369-425 [Sula A.S., Ryabykina G.V., Grishin V.G. Method of dispersive mapping of an ECG. *Biophysical basis of the method of dispersion mapping*. Grachev S.V., Ivanov G.G., Syrkineditor A.L. editors. Moscow: Technosphere, 2007. p. 369-425. In Russian].
6. Иванов Г.Г., Сула А.С. Дисперсионное ЭКГ-картирование: теоретические основы и клиническая практика. М.: Техносфера, 2009; с. 192 [Ivanov G.G., Sula A.S. Dispersion ECG mapping: theoretical foundations and clinical practice. Moscow: Technosphere; 2009. p. 192. In Russian].
7. Парин В.В., Баевский Р.М., Газенко О.Г. Достижения и проблемы современной космической кардиологии. *Кардиология*. 1965; 5 (3): 220 [Parin V.V., Baevsky R.M., Gazenko O.G. Achievements and problems of modern space cardiology. *Kardiologiya*. 1965; 5 (3): 220. In Russian].
8. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*. 1996; (93): 1043-1065.
9. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я., Кукушкин Ю.А., Миронова Т.Ф., Прилуцкий Д.А. и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем. *Вестник аритмологии*. 2002; 24: 65-86 [Baevsky R.M., Ivanov G.G., Gavrilushkin A.P., Dovgalevsky P.Ya., Kukushkin Yu.A., Mironova T.F., Prilutsky D.A. et al. Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems. *Vestnik Aritmologii*. 2002; 24: 65-86. In Russian].
10. Sinnreich R, Kark JD, Friedlander Y, Sapoznikov D, Luria MH. Five minute recordings of heart rate variability for population studies: Repeatability and age-sex characteristics. *Heart*. 1998; 80: 156-162. doi:10.1136/hrt.80.2.156.
11. Gilad O, Swenne CA, Davrath LR, Akselrod S. Phase-averaged characterization of respiratory sinus arrhythmia pattern. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2005; 288 (2): 504-510. doi:10.1152/ajpheart.00366.2004.
12. Баевский Р.М. Кибернетический анализ процессов управления сердечным ритмом. *Актуальные проблемы физиологии и патологии кровообращения*. М.: Медицина. 1976; с. 161-175 [Baevsky R.M. Cybernetic analysis of managerial processes of a warm rhythm. *Actual problems of physiology and a blood circulation pathology*. Moscow: Medicine. 1976; p. 161-175. In Russian].
13. Михайлов В.М. Variability ритма сердца: опыт практического применения метода. *Иваново: Ивановская гос. Мед. Академия*, 2002; с. 288 [Mikhailov V.M. Heart rate variability: experience of the method practical application. *Ivanovo*: 2002; p. 290. In Russian].
14. Brouwer J., van Veldhuisen D.J., Man Veld A.J. et al. Prognostic value of heart rate variability during long-term follow-up in patients with mild to moderate heart failure. The Dutch Ibopamine Multicenter Trial Study Group. *J. Amer. Coll. Cardiol.* 1996; 28 (5): 1183-1189. doi:10.1016/s0735-1097(96)00279-3.
15. La Rovere M.T., Bigger J.T., Marcus F.I. et al. Baroreflex sensitivity and heart-rate variability in prediction of total cardiac mortality after myocardial infarction. ATRAMI (Autonomic Tone and Reflexes After Myocardial Infarction) Investigators. *Lancet*. 1998; 351 (9101): 478-484. doi: 10.1016/s0140-6736(97)11144-8.
16. Фибрилляция предсердий: популяционные аспекты и прогнозирование клинического течения. Под ред. Бояринцева В.В., Сидоренко Б.А. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга». 2013; с. 176 [Atrial fibrillation: population aspects and prediction of the clinical course. Boyarintseva V.V., Sidorenko B.A. editors. Voronezh: Publishing and Printing Center "Scientific Book". 2013; p. 176. In Russian].
17. Воскресенский А.Д., Венцель М.Д. Статистический анализ сердечного ритма и показателей гемодинамики в физиологических исследованиях. М.: Наука. 1974; с. 221 [Voskresensky A.D., Wentzel M.D. Statistical analysis of heart rate and hemodynamic parameters in physiological studies. Moscow: Science. 1974; p. 221. In Russian].
18. Malik M., Camm A.J. Components of heart rate variability. What they really mean and what we really measure. *Am. J. Cardiol.* 1993; 72: 821-822. doi: 10.1016/0002-9149(93)91070-x.
19. Миронова Т.В., Миронов В.А. Клинический анализ волновой структуры синусового ритма сердца (Введение в ритмокардиографию и атлас ритмокардиограмм). Челябинск; 1998. с. 162 [Mironova T.V., Mironov V.A. Clinical analysis of the wave structure of the sinus rhythm of the heart (Introduction to rhythmocardiography and atlas of rhythmocardiograms). Chelyabinsk; 1998. p. 162. In Russian].
20. Рябыкина Г.В., Соболев А.В. Variability ритма сердца: монография. М., 1998; с. 196 [Ryabykina G.V., Sobolev A.V. Heart rate variability: monograph. Moscow; 1998. p. 196. In Russian].
21. Pomeranz M., Macaulay R.J.B., Caudill M.A. et al. Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *Am. J. Physiol.* 1985; 246: 151-153. doi:10.1152/ajpheart.1985.248.1.H151.
22. Malliani A., Lombardi F., Pagani M. Power spectrum analysis of heart rate variability: a tool to explore neural regulatory mechanisms. *Br. Heart J.* 1994; 71: 1-2. doi: 10.1136/hrt.71.1.1
23. Курияков Ю.Ю., Хмелевский Я.М., Воронцова Е.В. Компьютерный анализ variability сердечного ритма: методики, интерпретация, клиническое применение. *Анестезиология и реаниматология*. 2000; 2: 56-62 [Kiriachkov Yu.Yu., Khmelevskiy Ya.M., Vorontsova E.V. The computer analysis of the variability of the cardiac rhythm: methods, interpretation and clinical use. *Anesteziol. Reanimatol.* 2000; 2:56-62. In Russian].
24. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина. 1997. с. 236 [Baevsky R.M., Berseneva A.P. Assessing the adaptive capabilities of the body and the risk of developing diseases. Moscow: Medicine; 1997. p. 236. In Russian].
25. Баевский Р.М., Черникова А.Г. Оценка адаптационного риска в системе донозологического контроля. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2014; 10: 1180-1194. [Baevskiy R.M., Chernikova A.G. Assessment of adaptation risk in the individual prenosological control. *Russian Journal of Physiology*. 2014; 10: 1180-1194. In Russian].
26. Ушаков И.Б., Симакова Т.Г., Зипа О.М., Черникова А.Г., Баевский Р.М. Совершенствование врачебно-лётной экспертизы на основе использования методов донозологической диагностики. *Авиационная, космическая и экологическая медицина*. 2014; 48 (6): 16-22 [Ushakov I.B., Simakova T.G., Zipa O.M., Chernikova A.G., Baevskiy R.M. Use of the prenosology approach for attaining the objectives of pilot medical expertise. *Aviation, space and environmental medicine*. 2014; 48 (6): 16-22. In Russian].



27. Калёнова И.Е., Мелкумова Е.Ю., Ардашев В.Н., Масленникова О.М., Стеблецов С.В. *Вариабельность сердечного ритма у больных ишемическим инсультом: диагностическая и прогностическая значимость. Кремлевская медицина. Клинический вестник.* 2018; (3): 35-41 [Kalenova I.E., Melkumova E.Yu., Ardashev V.N., Maslennikova O.M., Stebletsov S.V. *Heart rate variability in patients with ischemic stroke: diagnostic and prognostic significance. Kremlin Medicine Journal.* 2018; (3): 35-41. In Russian].
28. Бояринцев В.В., Журавлев С.В., Закарян Н.В., Ардашев В.Н., Кубенский Г.Е., Тихонравов А.В. и др. *Чрескожные коронарные вмешательства при остром инфаркте миокарда с подъемом сегмента ST в зависимости от сроков оперативного лечения. Лечение и профилактика.* 2018; 8 (3): 22-28 [Boyarintsev V.V., Zhuravlev S.V., Zakaryan N.V., Ardashev V.N., Kubenskij G.Ye., Tikhonravov A.K. et al. *Percutaneous coronary interventions in acute myocardial infarction with ST-segment elevation depending on the terms surgical treatment. Treatment and prevention.* 2018; 8 (3): 22-28, In Russian].
29. Масленникова О.М., Закарян Н.В., Ардашев В.Н., Стеблецов С.В., Новиков Е.М., Кубенский Г.Е. и др. *Исходы, осложнения и реабилитационный потенциал при выполнении чрескожного коронарного вмешательства в различные сроки острого инфаркта миокарда. Терапия.* 2019; 5 (27): 48-53 [Maslennikova O.M., Zakaryan N.V., Ardashev V.N., Stebletsov S.V., Novikov E.M., Kubensky G.E. et al. *Outcomes, complications and rehabilitation potential of percutaneous coronary intervention in different periods of acute myocardial infarction. Therapy.* 2019; 5 (27): 48-53. In Russian].
30. Иванов Г.Г., Сула А.С. *Анализ микроальтернаций ЭКГ методом дисперсионного картирования в клинической практике. М.: Техносфера, 2014; с. 104 [Ivanov G G, Sula A S. *Analysis of microalternations of the ECG by the method of dispersion mapping in clinical practice. Moscow: Technosphere, 2014; p. 104. In Russian].**
31. Баевский Р.М. *Методы и приборы космической кардиологии на борту Международной космической станции. Монография. М.: Техносфера. 2016; с. 368 [Baevsky R.M. *Methods and instruments of space cardiology aboard the International Space Station. Monograph. Moscow: Technosphere. 2016; p. 368. In Russian].**
32. Ардашев А.В., Лоскутов А.Ю. *Практические аспекты современных методов анализа вариабельности сердечного ритма. М.: МЕДПРАКТИКА-М. 2011; с. 128 [Ardashev A V, Loskutov A Yu. *Practical aspects of modern methods for analyzing heart rate variability. Moscow: MEDPRAKTIKA-M; 2011. p. 128. In Russian].**
33. Титомир Л.И. *Электрический генератор сердца. М.: Наука. 1980; с. 371 [Titomir L I. *Electric heart generator. Moscow: Science; 1980. p. 371. In Russian].**
34. Ардашев В.Н., Закарян Н.В., Семенов Д.В., Земсков Е.В. *Вариабельность сердечного ритма и дисперсионное картирование ЭКГ в оценке эффективности транслюминальной баллонной ангиопластики коронарных артерий у больных ИБС. Кремлевская медицина. Клинический вестник.* 2015; 2: 83-86 [Ardashev V.N. Zakaryan N.V., Semenov D.V., Zemskov E.V. *Heart rate variability and dispersion ECG mapping in assessing the effectiveness of transluminal balloon angioplasty of coronary arteries in patients with coronary artery disease. Kremlin Medicine Journal.* 2015; 2: 83-86. In Russian].
35. Бояринцев В.В., Ардашев В.Н., Закарян Н.В., Семенов Д.В., Земсков Е.В. *Оценка эффективности чрескожной транслюминальной коронарной пластики у больных ИБС с использованием вариабельности сердечного ритма и дисперсионного картирования ЭКГ. Клиническая медицина.* 2014; 16 (4): 1254-1257 [Boyarintsev V.V., Ardashev V.N., Zakaryan N.V., Semenov D.V., Zemskov E.V. *Evaluation of the effectiveness of percutaneous transluminal coronary plasty in patients with coronary artery disease using heart rate variability and dispersive ECG mapping. Clinical medicine.* 2014; 16 (4): 1254-1257. In Russian].
36. Бояринцев В.В., Закарян Н.В., Ардашев В.Н., Пасько В.Г. *Первичное чрескожное коронарное вмешательство при инфаркте миокарда. Успешность и теньевые моменты. Лечение и профилактика.* 2016; 3: 10-16 [Boyarintsev V.V., Zakaryan N.V., Ardashev V.N., Pasko V.G. *Primary percutaneous coronary intervention for myocardial infarction. Success and shadow moments. Treatment and prevention.* 2016; 3: 10-16. In Russian].

Конфликт интересов отсутствует