

УДК 612.1+612.17:613.71-073.96

DOI: 10.18413/2075-4728-2018-41-2-269-279

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ ИЛЛЮСТРАЦИИ ЭКГ-ЦИКЛОВ В КАЧЕСТВЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИИ МИОКАРДА

## USING OF PHASE GRAPHIC ILLUSTRATION OF ECG CYCLES AS A DIAGNOSTIC CRITERIA FOR CHANGING THE MYOCARDIUM FUNCTION

Е.Н. Минина<sup>1</sup>, А.Г. Ластовецкий<sup>2</sup>  
E.N. Minina<sup>1</sup>, A.G. Lastovetsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского,  
Республика Крым, 295007, г. Симферополь, проспект академика Вернадского, 4

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения  
Минздрава РФ,  
Россия, 127254, г. Москва, ул. Добролюбова, 11

<sup>1</sup> Crimean Federal University named after V. Vernadsky,  
4 Akademika Vernadskogo Ave, Simferopol, 295007, Republic of Crimea

<sup>2</sup> Research Institute of organization and informatization of Health Ministry of Health,  
11 Dobrolyubova St, Moscow, 127254, Russia

E-mail: cere-el@yandex.ru, albertlast@yandex.ru

### Аннотация

Анализ электрокардиограмм с помощью геометрических методов моделирования в фазовом пространстве координат и распознавания образов позволяет качественные характеристики процесса перевести в количественный показатель с целью более информативной оценки состояния сердечно-сосудистой системы. Целью настоящей статьи явилось рассмотрение практического использования графической иллюстрации структуры биосигнала, полученной преобразованием одноканальной ЭКГ в фазовом пространстве, в решении диагностических задач превентивной и клинической направленности. Анализировали параметры фазовой графической иллюстрации: размах фазовой графической иллюстрации ( $\sigma$ QRS, ед.), симметрию фазовой иллюстрации, соответствующей зубцу Т одноканальной ЭКГ ( $\beta$ T, ед.), угол наклона фазовой иллюстрации ( $\alpha$ QRS, ед.), соотношение площади иллюстрации зубца Т и комплекса QRS ( $STR$ , ед.). Риск возникновения дисфункции миокарда оценивали по совокупности признаков фазовой графической иллюстрации в баллах. Установлено, что параметры фазовой графической иллюстрации одноканальной ЭКГ и в группе здоровых исследуемых, и в группе с патологией отражали эффективность функционирования, а использование фазовой графической иллюстрации ЭКГ-циклов позволяло выявлять изменения, недифференцируемые на 12-канальном электрокардиографе.

### Abstract

The analysis of electrocardiograms with the help of geometric methods of modeling in the phase space of coordinates and pattern recognition allows qualitative characteristics of the process redirect into a quantitative indicator for the purpose of more informative state of the cardiovascular system's assessment. The purpose of this article was to consider the practical use of a graphic illustration of the structure of a bi-signal obtained by converting a single-channel ECG in the phase space in solving diagnostic problems of a preventive and clinical orientation. The parameters of the phase graphic illustration were analyzed: the spread of the phase diagrams ( $\sigma$ , units), the symmetry of the phase diagram corresponding to the T wave of the single-channel ECG (units), the angle of inclination ( $\alpha$ , unit), the risk of myocardial dysfunction was assessed by the combination of signs of phase graphic illustration in points. Factor analysis showed

that the morpho-functional indicators obtained using ultrasound in the group with cardiac pathologies accounted for two leading factors characterizing the state of cardiohemodynamics. And allowed to detect changes that are not differentiated in a 12-channel electrocardiograph.

**Ключевые слова:** фазовая графическая иллюстрация, одноканальная ЭКГ, функционирование миокарда.

**Keywords:** phase graphic illustration, single-channel ECG, functioning of the myocardium.

## Введение

Различение функционального состояния системы кровообращения имеет важное значение не только с целью клинического установления диагноза, но и в доклиническом выявлении ранней или скрытой стадии дисфункции условно здоровых лиц особых профессий, а также при принятии решения о пригодности к выполнению профессиональных обязанностей [Степчук и др., 2015]. Трудовая деятельность спортсменов, военных и операторов ряда профессий (водителей, летчиков, авиадиспетчеров т.п.) часто происходит в необычных (экстремальных) условиях среды и сопряжена со стрессовыми ситуациями. Даже если на очередном осмотре такие операторы признаны практически здоровыми и допущены к выполнению профессиональных обязанностей, то в процессе выполнения профессиональных компетенций необходимо осуществлять постоянный контроль за их текущим функциональным состоянием. Так же актуально ранжирование по степени отклонения функционирования в процессе лечебных и реабилитационных мероприятий с учётом критерия достаточной эффективности применяемых препаратов выбора [Ластовецкий, 2013].

Электрокардиография по-прежнему остается наиболее распространенным, доступным и дешевым методом объективного обследования сердца. Однако чувствительность и специфичность обычного электрокардиографического обследования, особенно в области пограничных состояний, невысоки, а его разрешающая способность недостаточна. Это побуждает исследователей постоянно искать новые подходы к решению задачи анализа и интерпретации ЭКГ [Файнзильберг, 2013; Логов, Замараев, 2015; Mezentseva et al., 2017; Мина, 2013-2017].

Важно отметить, что компьютерная обработка существенно усложняется, если диагностическая информация сосредоточена на небольших фрагментах области определения сигнала, как в случае с ЭКГ. Ортогональные разложения по системе базисных функций мало пригодны для обработки сигналов с локально-сосредоточенными признаками, поскольку коэффициенты функционального ряда, построенного на всей области определения, почти нечувствительны к локальным изменениям формы сигнала. Но именно такие изменения имеют диагностическую ценность [Файнзильберг, 2013]. Анализ электрокардиограмм с помощью геометрических методов моделирования и распознавания образов позволяет качественные характеристики процесса перевести в количественный показатель с целью более информативной оценки состояния сердечно-сосудистой системы.

Метод отображения ЭКГ в фазовом пространстве координат [Файнзильберг, 2013] состоит в том, что на основе обработки временного электрокардиосигнала  $x = x(t)$  оценивается его производная, и в координатах  $x - dx/dt$  отображается графическая зависимость между амплитудой ЭКГ и ее скоростью изменения во времени.

**Цель исследования** – рассмотрение практического использования графической иллюстрации структуры биосигнала, полученного преобразованием одноканальной ЭКГ в фазовом пространстве в ходе решения диагностических задач превентивной и клинической направленности.

### Задачи:

1. Выявить факторную значимость параметров графической иллюстрации структуры биосигнала, полученного преобразованием одноканальной ЭКГ в фазовом простран-

стве при сравнении групп условно здоровых лиц и кардиологических больных с верифицированным диагнозом.

2. Определить различия фазовой графической иллюстрации до и после использования в стандартной схеме лечения различных кардиотропных лекарственных препаратов.

3. Исследовать степень риска при кардиотоксическом лечении с использованием совокупности признаков фазовой графической иллюстрации структуры биосигнала, полученного преобразованием одноканальной ЭКГ в фазовом пространстве.

### Материалы и методы исследования

Регистрацию и анализ графической иллюстрации структуры биосигнала, полученного преобразованием одноканальной ЭКГ в фазовом пространстве, проводили с помощью программно-технического комплекса ФАЗАГРАФ<sup>®</sup>, в котором реализована оригинальная информационная технология обработки электрокардиосигнала в фазовом пространстве с использованием идей когнитивной компьютерной графики и методов автоматического распознавания образов [Файнзильберг, 2013].

В отличие от большинства известных работ, в которых фазовый портрет одноканальной ЭКГ  $z(t)$  изучается на плоскости с координатами  $z(t)$ ,  $z(t - \tau)$ , где  $\tau$  – временная задержка, комплекс ФАЗАГРАФ<sup>®</sup> за счет использования оригинальных компьютерных алгоритмов обеспечивает возможность построения фазовой графической иллюстрации одноканальной ЭКГ в координатах  $z(t)$ ,  $\dot{z}(t)$ , где  $\dot{z}(t)$  – скорость изменения электрической активности сердца в момент времени  $t$ . При использовании оригинальных процедур фильтрации и регуляризации авторам метода удалось для дискретно заданной функции  $z[k]$ ,  $k = 0, \dots, K - 1$  получать приемлемые оценки  $\dot{z}[k]$ . Этот результат позволил перейти от скалярного представления ЭКГ  $z(t)$  в любом из отведений, заданных в дискретные моменты времени  $t_k \equiv k\Delta$ ,  $k = 0, 1, \dots, K - 1$ , где  $\Delta$  – шаг квантования по времени, к последовательности двумерных векторов (точек)

$$(z(t_0), \dot{z}(t_0)), (z(t_1), \dot{z}(t_1)), \dots, (z(t_{K-1}), \dot{z}(t_{K-1}))),$$

лежащих на фазовой плоскости  $z(t)$ ,  $\dot{z}(t)$ , которые используются для последующей компьютерной обработки (рис. 1).

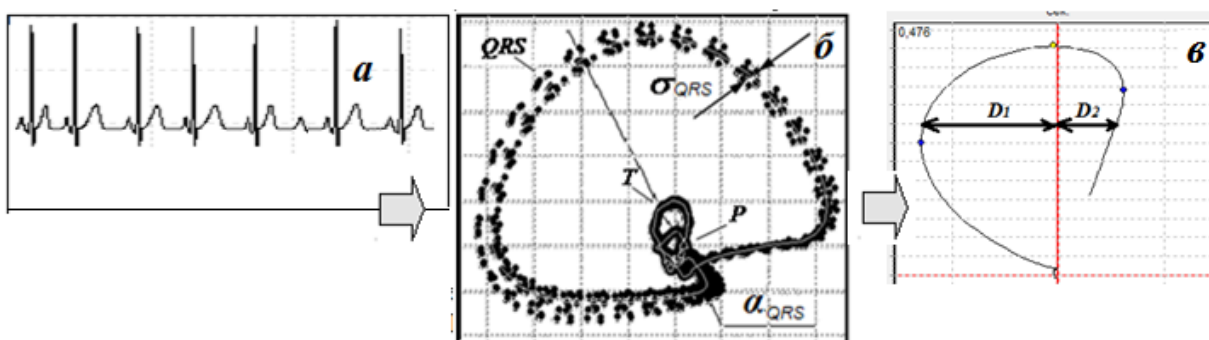


Рис. 1. Этапный алгоритм обработки ЭКГ: исходная ЭКГ (а); ее фазовая траектория – фазовая графическая иллюстрация (б); участок фазовой графической иллюстрации, соответствующий зубцу Т одноканальной ЭКГ, и принцип определения его симметричности (D2/D1)  
 Fig. 1. Landmark algorithm of processing of the ECG: initial ECG (a); her phase trajectory – a phase graphic illustration (b); the site of a phase graphic illustration corresponding to a wave T of the single-channel ECG and the principle of determination of its symmetry (D2/D1)

Несмотря на то, что ЭКГ (рис. 1, а) не является периодической функцией времени, в большинстве случаев траектории отдельных циклов (рис. 1, б) притягиваются к некоторой локальной области фазовой плоскости  $z(t), \dot{z}(t)$  – аттрактору – в виде предельного цикла. Отличительной особенностью информационной технологии ФАЗАГРАФ® является то, что для селекции нетипичных циклов ЭКГ (экстрасистол и артефактов) и оценки усредненной фазовой траектории (рис. 1, в) используются хаусдорфовы расстояния между всеми парами фазовых траекторий  $Q_n$  и  $Q_m$  отдельных циклов ЭКГ:

$$R_H(Q_n, Q_m) = \max \left\{ \max_{q_n \in Q_n} \min_{q_m \in Q_m} \rho(q_n, q_m), \max_{q_m \in Q_m} \min_{q_n \in Q_n} \rho(q_n, q_m) \right\},$$

где  $\rho(q_n, q_m) = \|q_n - q_m\|$  – евклидово расстояние между точками (нормированными векторами)  $q_n = (z_n, \dot{z}_n) \in Q_n$  и  $q_m = (z_m, \dot{z}_m) \in Q_m$ , лежащими на фазовой плоскости.

Анализировали параметры фазовой графической иллюстрации: размах фазовой графической иллюстрации ( $\sigma$ QRS, ед.), симметрию фазовой иллюстрации, соответствующей зубцу Т одноканальной ЭКГ ( $\beta$ T, ед), угол наклона фазовой иллюстрации ( $\alpha$ QRS, ед.), соотношение площади иллюстрации зубца Т и комплекса QRS ( $S_{TR}$ , ед.). Данные параметры не регистрируются и не дифференцируются на 12-канальном электрокардиографе. На основе методического обоснования метода, приведенного в работах с целью расширения диапазона его использования в кардиомониторировании, были организованы три этапа, на которых проводили факторный анализ и моделировали условия для практического применения ранее установленной информативности метода.

**На первом этапе** осуществляли факторный анализ с определением ведущих признаков функционального состояния миокарда с включением морфофункциональных данных и параметров фазовой графической иллюстрации (ФГИ). Ультразвуковое исследование сердца проводили на эхокардиографе PHILIPS EnVisor C (США) с цветным доплеровским картированием у двух групп исследуемых с последующим морфофункциональным исследованием параметров (конечно-диастолический размер левого желудочка (КДР ЛЖ), конечно-диастолический размер правого желудочка (КДР ПЖ), толщина задней стенки ЛЖ, толщина межжелудочной перегородки, фракция выброса, диаметр ПЖ в диастолу). В первую группу вошли 52 условно здоровых мужчины 20-35 лет с достаточным уровнем функциональных резервов, во вторую – 98 пациентов с верифицированной острой и хронической кардиальной патологией со следующими диагнозами: стенокардия напряжения, ишемическая болезнь сердца (ИБС), постинфарктный кардиосклероз (ПИКС) – I20-I25 по критериям МКБ-10.

**На втором этапе** выявляли степень эффективности различных метаболических препаратов, включённых в стандартную схему лечения, у 50 пациентов 65–70 лет с диагнозом «Стенокардия напряжения, ишемическая болезнь сердца (ИБС), постинфарктный кардиосклероз (ПИКС)» – I20-I25 по критериям МКБ-10 с использованием параметров фазовой графической иллюстрации. Применяли следующие препараты: «Метамакс» (n=10), «Милдронат» (n=10), «Рибоксин» (n=10), «Тивортин» (n=10), «Тиотриазолин» (n=10). При помощи компьютерного ЭКГ-комплекса «Cardiolife» параллельно с регистрацией ФГИ регистрировалась ЭКГ в 12 отведениях.

**На третьем этапе** оценивали риск возникновения кардиогемодинамической патологии при длительном кардиотоксическом лечении по совокупности параметров фазовой графической иллюстрации [Минина Е.Н., Файнзильберг Л.С., 2015]. Предложенная схема принятия диагностических решений по совокупности  $\beta$ T,  $S_{TR}$ ,  $\alpha$ QRS и  $\sigma$ QRS дает возможность оценивать эффективность функционирования сердечно-сосудистой системы при скрининговых обследованиях (табл. 1). Референтные диапазоны составляют следующие

диапазоны показателей: норма, если  $\beta_T \leq \beta_{T0}$ , если  $110 < \alpha_{QRS} < 185$  град., если  $\sigma_{QRS} < 30$  у.е., если  $S_{TR} > 0.02$  у.е.

Для количественной оценки применялась формализованная балльная система. В исследовании принимали участие 40 больных параноидной шизофренией мужского пола 32-65 лет (стаж лечения не менее 6 лет), которые составили основную группу. Диагноз был установлен согласно критериям для F20.0 по МКБ-10. Пациенты получали препараты «Трифтазин» (от 10 мг до 15 мг/сут) и «Галоперидол» (от 5мг до 10 мг/сут). В контрольную группу вошли 30 условно здоровых мужчин соответствующего возраста.

Таблица 1  
Table 1

Схема принятия решений по совокупности 4-х показателей графической иллюстрации структуры биосигнала, полученной преобразованием одноканальной ЭКГ в фазовом пространстве  
Decision making scheme based on a set of 4 indicators of graphic illustration of the biosignal structure obtained by transformation of single-channel ECG in phase space

Решение о функциональном состоянии	Условие, налагаемые на значения показателей $\beta_T$ , $STR$ , $\alpha_{QRS}$ и $\sigma_{QRS}$	Баллы
Функциональная норма	все показатели в пределах референтных диапазонов	0
Условно нормальное	один из показателей вне референтного диапазона	0.5
Низкий риск нарушений	два показателя вне референтного диапазона	1
Средний риск нарушений	три показателя вне референтного диапазона	2
Высокий риск нарушений	четыре показателя вне референтного диапазона	3

Статистическую обработку полученных результатов исследований проводили с помощью программного пакета STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc., USA). Оценки расхождения распределений признаков проводились с помощью критерия согласия Колмогорова-Смирнова. Достоверность различий между одноименными показателями в независимых выборках оценивали с помощью непараметрического U-критерия Mann-Whitney. При условии нормального распределения применяли параметрический t-критерий Стьюдента.

### Результаты и их обсуждение

При факторном анализе, в который были включены показатели фазовой графической иллюстрации (ФГИ) и морфо-функциональные данные (МФД), было определено, что МФД в группе здоровых исследуемых не вошли в ведущие факторы, определяющие степень функционирования и, соответственно, риска возникновения патологии (рис. 2).

При этом морфо-функциональные показатели, полученные с использованием УЗИ, в группе с кардиальной патологией составили два ведущих фактора, характеризующих состояние кардиогемодинамики. Напротив, параметры ФГИ одноканальной ЭКГ и в группе здоровых исследуемых, и в группе с патологией отражали эффективность функционирования. Очевидно, что морфо-функциональные нарушения, идентифицируемые с использованием УЗИ, констатируют факт деформации и, в отличие от параметров ФГИ, не могут являться прогностическими признаками.

Также ФГИ ЭКГ-циклов может оптимизировать поиск наиболее эффективных препаратов для улучшения метаболических процессов в миокарде с учётом индивидуальных особенностей пациента. На протяжении длительного времени ряд авторов отрицал антиишемическую эффективность метаболической терапии при лечении ишемических проявлений при патологии миокарда. Действие традиционных лекарственных средств было

направлено в основном на снижение потребности миокарда в кислороде или на увеличение его поступления. Однако препараты, влияющие на гемодинамические параметры, эффективны, когда речь идет о профилактике приступов стенокардии, но фактически не защищают клетку миокарда от метаболических изменений, составляющих основу прогрессирования патологического процесса.



Рис. 2. Схема факторного состава обеспечения функционального состояния у условно здоровых людей и пациентов с кардиологической патологией

Fig. 2. Diagram of the factorial structure of the security functional status in healthy individuals and patients with heart disorders

При гипоксии (ишемии) миокарда окислительные процессы в митохондриях кардиомиоцитов нарушаются, в результате чего накапливаются промежуточные метаболиты цикла Кребса, крайне легко подверженные восстановлению с образованием свободных радикалов и перекисных соединений, угнетающих систему антиоксидантной защиты. Поэтому применение препаратов, действие которых направлено на стабилизацию метаболизма миокарда, в том числе нормализацию дисбаланса между интенсивностью свободно-радикального окисления и антиоксидантной защитой и улучшение состояния энергообмена миокарда, является патогенетически оправданным в лечении ИБС, однако выбор препаратов для индивидуального лечения с учётом особенностей течения патологического процесса затруднён его многокомпонентностью (клеточный ацидоз, локальные воспаления, нарушения ионного равновесия, уменьшение синтеза АТФ и перекисаации).

Применение результатов диагностики, полученных с использованием ФГИ, позволило выявить изменения при действии фармакологического вещества более точно и информативно. Сочетание индивидуальных особенностей протекания заболевания и действующих веществ, входящих в препараты, показало неоднородный результат в изменении процессов реполяризации миокарда по показателю симметрии зубца Т ФГИ (табл. 2).

Важно отметить, что ФГИ позволяла выявлять изменения, не дифференцируемые на 12-канальном электрокардиографе. В 6 случаях из 10 результат при применении рибоксина носил результативный характер и сопровождался оптимизацией деятельности миокарда по показателям ФГИ (рис. 3).

Таблица 2  
Table 2

Градиент изменения показателя симметрии зубца Т после курсового применения метаболитических препаратов у пациентов с кардиологической патологией  
The gradient of change of the measure of the symmetry of the T wave after the course the application of metabolic agents in patients with heart disorders

Препараты	$\Delta\beta T, \%$	Достоверность
«Метамакс» (n=10)	+9.6	
«Милдронат» (n=10)	+12.5	
«Рибоксин» (n=10)	-12.6	p < 0.05
«Тивортин» (n=10)	-5.0	p < 0.05
«Тиотриазолин» (n=10)	-10.9	p < 0.05

Как известно, «Рибоксин» обладает анаболическими свойствами, повышает работоспособность сердца в условиях кислородной недостаточности, стимулируя синтез нуклеиновых кислот и усиливая активность ряда энзимов цикла Кребса, улучшает кровообращение в сосудах сердца, нормализует сердечный ритм.

Также применение цитопротекторов, например «Тиотриазолина», при заболеваниях сердечно-сосудистой системы с целью предупреждения ишемических повреждений жизненно важных органов является одним из активно разрабатываемых направлений современной кардиологии [Козловский и др., 2007].

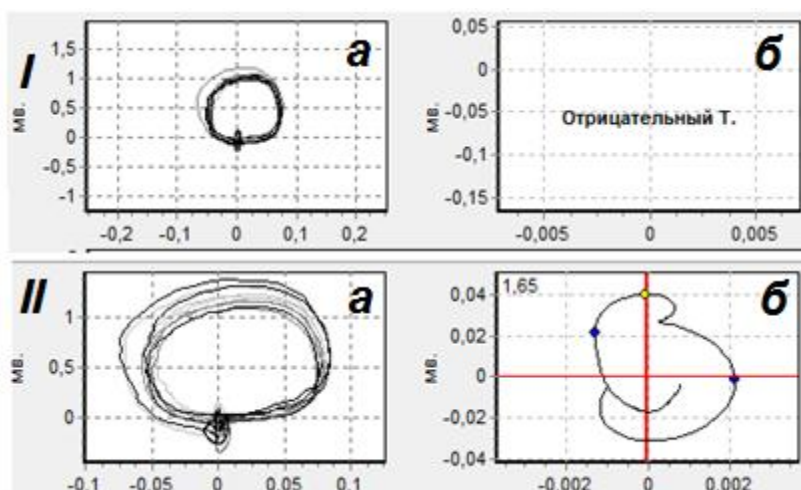


Рис. 3. Фазовая графическая иллюстрация (а), участок реполяризации ЭКГ (б) пациентки В. (78 лет) с диагнозом ИБС, ПИКС до лечения (I) и после лечения препаратом «Рибоксин» (N 10) (II)

Fig. 3. Phase graphic illustration of (a), plot of repolarization EC (b) patient B. (78 years old) with a diagnosis of CHD, PEAKS before treatment (I) and after drug treatment «Riboxin» (N 10) (II)

Несмотря на то, что в целом ряде экспериментальных работ и клинических исследований на небольших группах больных получены обнадеживающие результаты, широкомасштабные исследования не позволили получить достаточно убедительные отдаленные результаты. В нашем исследовании в 5 случаях из 10 «Тиотриазолин» улучшил процессы реполяризации по показателям ФГИ (табл. 2).

Ещё один препарат, показавший положительный результат по улучшению процессов реполяризации у 7 пациентов из 10, – «Тивортин». «Тивортин®» – искусственно полученный аргинин, являющийся структурным материалом для эндотелиальной NO-синтазы, катализирующей в эндотелиоцитах синтез оксида азота (уменьшается активация и адгезия лейкоцитов и тромбоцитов), угнетающей синтез протеинов адгезии, что предупреждает возникновение как кардиоваскулярных событий, так и ишемического панкреатита (или инфаркта поджелудочной железы) у данных больных. Оксид азота улучшает эндотелийзависимую вазодилатацию, что дало основание FDA (Food and Drug

Administration) рекомендовать использование L-аргинина при лечении рефрактерной стенокардии. При хронической сердечной недостаточности страдают и обменные процессы в печени (липидный, белковый, углеводный), а морфологические исследования при лечении L-аргинином свидетельствуют о значительном уменьшении выраженности жировой дистрофии гепатоцитов, некроза, воспаления и фиброза в печени, что весьма важно для стабилизации и профилактики прогрессирования ХСН, в том числе при коморбидности перечисленных заболеваний. С применением данного препарата в фазовом портрете ЭК также были отмечены количественные и качественные изменения. Так, показатель симметрии зубца Т уменьшился на 15% (рис. 4). При этом ФГИ стал характеризоваться более выраженными фрактальными свойствами (рис. 5).

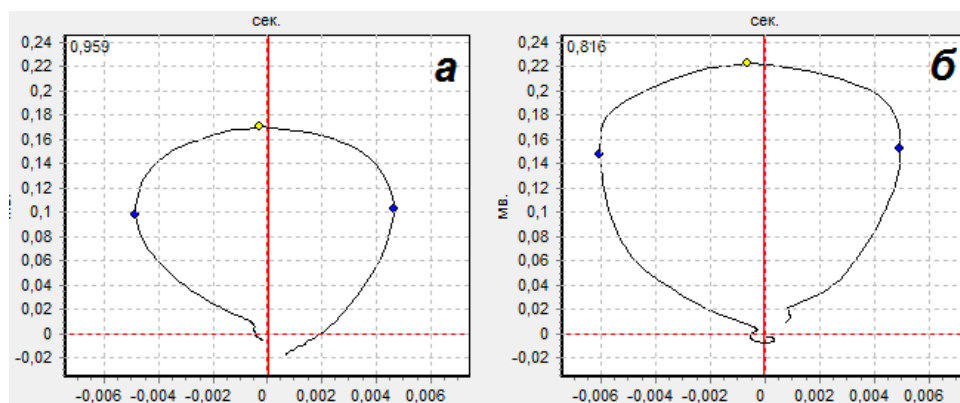


Рис. 3. Участки реполяризации фазовой графической иллюстрации до лечения (а) и после лечения «Тивортином» (б)

Fig. 3. Plots of the repolarization phase graphic illustration before treatment (a) and after treatment with «Tivortin» (b)

Эффективность милдроната и метамакса в изменении процессов реполяризации в данном исследовании проявляла противоречивый и недостоверный характер. Эти данные носят дискуссионный характер и указывают на необходимость разработки дифференцированных подходов к применению метаболических средств.

Таким образом, фазовая графическая иллюстрация ЭКГ-циклов позволяла выявлять изменения, недифференцируемые на 12-ти канальном электрокардиографе и может быть рекомендована для дальнейших клинических исследований как инструмент для верификации степени действенности различных препаратов, используемых в лечении сердечно-сосудистой патологии, с учётом персонафицированного подхода.

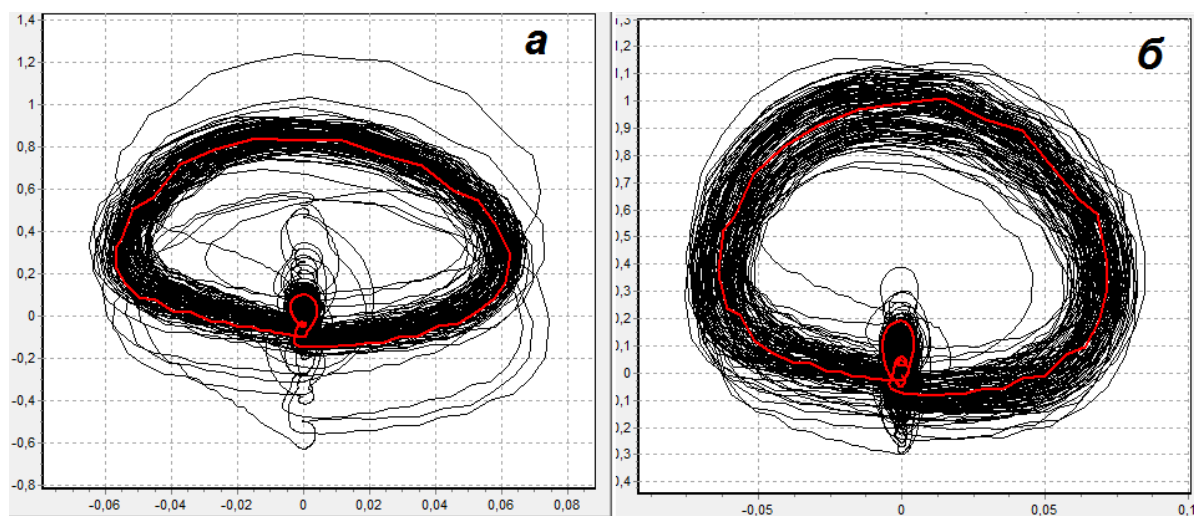


Рис. 5. Фазовая графическая иллюстрация до лечения (а) и после лечения «Тивортином» (б)  
Fig. 5. A graphical illustration of phase before treatment (a) and after treatment with «Tivortin» (b)



На третьем этапе определили, что используемые в стандартных схемах лечения различные препараты, могут приводить к побочным эффектам и увеличивать риск нарушения функции миокарда. Как известно лечение психотропными препаратами является эффективным и необходимым компонентом терапии психических расстройств. При этом многие из этих лекарственных средств обладают кардиотоксическим действием и могут способствовать развитию метаболических нарушений, повышать риск раннего формирования и более тяжелого течения сердечно-сосудистых заболеваний

В среднем у 80 % исследуемых больных шизофренией был определён риск возникновения сердечно-сосудистой патологии, выраженный в разной степени (рис. 6).

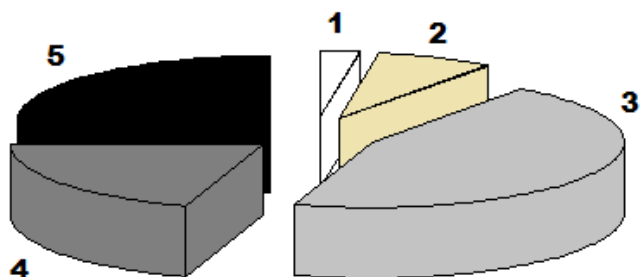


Рис. 6. Распределение исследуемых шизофренией с учётом риска возникновения сердечно-сосудистой патологии по показателям фазовой графической иллюстрации: 1 – норма; 2 – условно норма; 3 – низкий риск; 4 – средний риск; 5 – высокий риск

Fig. 6. Distribution of studied schizophrenia taking into account the risk of cardiovascular disease in terms of phase graphic illustration: 1 – norm; 2 – conditional norm; 3 – low risk; 4 – medium risk; 5 – igh risk

Показатели ФГИ, вошедшие в систему оценки степени риска, отражали различную направленность процессов адаптации. Показатель симметрии зубца Т  $\beta$ T характеризует процессы реполяризации и отражает пороговую способность миокарда потреблять кислород [Минина, 2013]. Диапазон значений  $\beta$ T у больных шизофренией был широким (от 0,72 до 1,1 у.е.) и не имел выявленных закономерностей и взаимосвязей с критериями возраста и стажа заболевания.

Количественные изменения показателя  $\sigma$ QRS как при срочной, так и при долговременной адаптации или ее срыве напрямую связаны с эффективностью регуляции кардиогемодинамикой, в том числе с оптимальным включением высокочастотных компонентов регуляции сердечного ритма. У 30% обследованных значения  $\sigma$ QRS выходили за рамки нормальных значений.

Однако наиболее информативными показателями фазового портрета одноканальной ЭКГ у больных с шизофренией оказались  $S_{tr}$  и  $\alpha$ QRS, нормальные значения которых были выявлены только у 10 % обследованных больных шизофренией. Показатель  $S_{tr}$  связан с электрофизиологическими процессами в отделах миокарда и, подобно векторкардиограмме, косвенно несёт количественную информацию об объёмном представлении процесса распространения волны возбуждения в соответствующих отделах миокарда. Также показатель  $\alpha$ QRS, характеризующий угол ориентации ФГИ, напрямую связан с электрофизиологическим состоянием миокарда: уменьшение значений показателя  $\alpha$ QRS свидетельствует об уменьшении электропозитивных его элементов.

Патологические сдвиги микроструктуры миокарда, прослеженные при нейролептической терапии шизофрении, отражают глубокие тканевые изменения компенсаторно-приспособительного, дистрофически-дегенеративного и склеротического характера, развертывающиеся в процессе реализации кардиотоксического эффекта антипсихотических препаратов. В ходе морфогенеза указанной патологии нарушаются процессы микроциркуляции и коллагеногенеза во внеклеточном матриксе миокарда, что сопровождается развитием интерстициального отёка и миофиброза, приводящих к снижению объёма паренхимы. Сопоставляя полученные функциональные данные настоящего исследования с морфологическими признаками кардиотоксичности нейролептиков, можно сделать заключе-

ние о вероятной направленности патологических изменений у больных шизофренией с различным сроком медикаментозной терапии, связанной в первую очередь с ухудшением электрофизиологического состояния миокарда, обусловленным дистрофически-дегенеративными изменениями и отражающимся на степени риска возникновения патологии кардиогемодинамики.

### Выводы

1. Параметры графической иллюстрации структуры биосигнала, полученного преобразованием одноканальной ЭКГ в фазовом пространстве, позволяли выявлять изменения, не дифференцируемые на 12-канальном электрокардиографе.

2. Факторный анализ показал, что морфо-функциональные показатели, полученные с использованием УЗИ, в группе с кардиальной патологией составили два ведущих фактора, характеризующих состояние кардиогемодинамики. Напротив, параметры фазовой графической иллюстрации одноканальной ЭКГ и в группе здоровых исследуемых, и в группе с патологией отражали эффективность функционирования.

3. Использование фазовой графической иллюстрации ЭКГ-циклов может оптимизировать поиск наиболее эффективных препаратов для улучшения метаболических процессов в миокарде с учётом индивидуальных особенностей пациента.

4. В среднем, у 80% исследованных больных шизофренией был определён риск возникновения сердечно-сосудистой патологии, выраженный в разной степени. Показатели фазовой графической иллюстрации, вошедшие в систему оценки степени риска, отражали различную направленность процессов адаптации.

### Список литературы References

1. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Хадарцева К.А., Литовченко О.Г. 2015. Проблема оценки эффективности лечения на основе кинематической характеристики вектора состояния организма. Вестник новых медицинских технологий, 22 (1): 143–152.

Eskov V.M., Khadartsev A.A., Filatova O.E., Khadartseva K.A., Litovchenko O.G. 2015. Problema otsenki effektivnosti lecheniya na osnove kinemacheskoy kharakteristiki vektora sostoyaniya organizma [The problem of evaluating the effectiveness of treatment on the basis of the kinematic characteristics of the vector state of the organism]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy, 22 (1): 143–152. (in Russian)

2. Ластовецкий А.Г. 2013. Методические подходы к формированию индикаторов в здравоохранении. Кремлевская медицина. Клинический вестник, 2: 35–39.

Lastovetskiy A.G. 2013. Metodicheskiye podkhody k formirovaniyu indikatorov v zdravookhranenii [Methodological approaches to the formation of indicators in health care]. Kremlevskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik, 2: 35–39. (in Russian)

3. Логов А.Б., Замараев Р.Ю. 2015. Кардиодиагностика в информационно-фазовом пространстве. Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 14 (1): 117–121.

Logov A.B., Zamarayev R.Yu. 2015. Kardiagnostika v informatsionno-fazovom prostranstve [The diagnosis in the information phase space]. Sistemnyy analiz i upravleniye v biomeditsinskikh sistemakh, 14 (1): 117–121. (in Russian)

5. Мезенцева Л.В., Чомахидзе П.Ш., Копылов Ф.Ю., Перцов С.С., Ластовецкий А.Г. 2017. Анализ переходов между линейными и нелинейными режимами кардиоритма у больных с ишемической болезнью сердца. Патогенез, 15 (1): 54–58.

Mezentseva L.V., Chomakhidze P.Sh., Kopylov F.Yu., Pertsov S.S., Lastovetsky A.G. 2017. Analiz perekhodov mezhdru lineynymi i nelineynymi rezhimami kardioritma u bolnykh s ishemichekoy boleznью serdtsa [Analysis of transitions between linear and nonlinear modes of the heart rate in patients with ischemic heart disease]. Patogenez, 15 (1): 54–58. (in Russian)

6. Минина Е.Н. 2013. Анализ волны Т ЭКГ в фазовом пространстве в определении функциональных резервов миокарда. Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского, 26 (65): 148–153.

Minina E.N. 2013. Analiz volny T EKG v fazovom prostranstve v opredelenii funktsionalnykh rezervov miokarda [Analysis of the ECG wave t in the phase space in determining the functional reserves of the myocardium]. Uchenyye zapiski Tavricheskogo natsionalnogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo, 26 (65): 148–153. (in Russian)

7. Мина Е.Н., Файнзильберг Л.С. 2014. Фазовый портрет одноканальной ЭКГ в оценке функциональных резервов сердечно-сосудистой системы. Вестник новых медицинских технологий, 21 (3): 22–27.

Minina E.N., Faynzilberg L.S. 2014. Fazovyy portret odnokanalnoy EKG v otsenke funktsionalnykh rezervov serdechno-sosudistoy sistemy [Phase portrait of a single-channel ECG in the assessment of functional reserves of the cardiovascular system]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy, 21 (3): 22–27. (in Russian)

8. Мина Е.Н. 2014. Новый подход в изучении взаимосвязи функциональной подготовленности и электрогенеза у спортсменов с использованием эталонного кардиоцикла. Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. № 1. Публикация 1–8. URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4931.pdf> (дата обращения: 03.07.2014)

Minina E.N. 2014. Novyy podkhod v izuchenii vzaimosvyazi funktsionalnoy podgotovlennosti i elektrogeneza u sportsmenov s ispolzovaniyem etalonnogo kardiotsikla [A new approach to study the relationship of functional training and electrogenesis in athletes using the reference cardiac cycle]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoye izdaniye. № 1. Publikatsiya 1–8. URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4931.pdf> (data obrashcheniya: 03.07.2014) (in Russian)

9. Мина Е.Н. 2015. Возможности оценки процессов реполяризации миокарда с использованием эталонного кардиоцикла. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия, № 4, 1 (67): 26–35.

Minina E.N. 2015. Vozmozhnosti otsenki protsessov repolyarizatsii miokarda s ispolzovaniyem etalonnogo kardiotsikla [The assessment of repolarization of the myocardium using the reference cardiac cycle]. Uchenyye zapiski Krymskogo federalnogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya, № 4, 1 (67): 26–35. (in Russian)

10. Мина Е.Н., Файнзильберг Л.С. 2015. Анализ функционального состояния сердечно-сосудистой системы по совокупности признаков фазового портрета одноканальной ЭКГ. Российский кардиологический журнал, 12 (128): 7–13.

Minina E.N., Faynzilberg L.S. 2015. Analiz funktsionalnogo sostoyaniya serdechno-sosudistoy sistemy po sovokupnosti priznakov fazovogo portreta odnokanalnoy EKG [Analysis of the functional state of the cardiovascular system on the basis of the set of features of phase portrait of single-channel ECG]. Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal, 12 (128): 7–13. (in Russian)

11. Степчук М.А., Ластовецкий А.Г., Ефремова О.А., Пинкус Т.М. 2015. Динамика демографической ситуации в Белгородской области, её оценка и прогноз на ближайшие годы. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация, выпуск 10, 30 (207): 169–176.

Stepchuk M.A., Lastovetskiy A.G., Efremova O.A., Pinkus T.M. 2015. Dinamika demograficheskoy situatsii v belgorodskoy oblasti. ee otsenka i prognoz na blizhayshiye gody [Dynamics of the demographic situation in the Belgorod region, its assessment and forecast for the coming years]. Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya. vypusk 10, 30. (207): 169–176. (in Russian)

12. Файнзильберг Л.С., Мина Е.Н. 2013. Исследование диагностической ценности угла ориентации фазового портрета одноканальной ЭКГ как индикатора функционального состояния миокарда. Клиническая информатика и телемедицина, 9 (10): 33–42.

Faynzilberg L.S., Minina E.N. 2013. Issledovaniye diagnosticheskoy tsennosti ugla orientatsii fazovogo portreta odnokanalnoy EKG kak indikatora funktsionalnogo sostoyaniya miokarda [A study of the diagnostic value of the orientation angle of the phase portrait of the single-channel ECG as an indicator of the functional state of the myocardium]. Klinicheskaya informatika i telemeditsina, 9 (10): 33–42. (in Russian)

13. Файнзильберг Л.С., Мина Е.Н. 2014. Оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы по величине разброса фазовых траекторий одноканальной ЭКГ. Кибернетика и вычислительная техника, 1: 5–19.

Faynzilberg L.S., Minina E.N. 2014. Otsenka funktsionalnogo sostoyaniya serdechno-sosudistoy sistemy po velichine razbrosa fazovykh trayektoriy odnokanalnoy EKG [Assessment of the functional state of the cardiovascular system according to the spread of phase trajectories of single-channel ECG]. Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika, 1: 5–19. (in Russian)

14. Файнзильберг Л.С. 2013. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы. К., Образование Украины, 190.

Faynzilberg L.S. 2013. Kompyuternaya diagnostika po fazovomu portretu elektrokardiogrammy [Computer diagnostics on the phase portrait of the electrocardiogram]. K., Obrazovaniye Ukrainy, 190. (in Russian)

15. Mezentseva S.S., Pertsov S.S., Kopilov F.Y., Lastovetsky A.G. 2017. Mathematical Analysis of the Stability of Heart-Rate Dynamics in Postinfarction Patients. Biophysics, 62 (3): 499–502.