

УДК 616.12-008.313-073.7

# Анализ предсердной электрокардиограммы с целью диагностики мерцательной аритмии

А. В. Фролов<sup>1</sup>, А. Г. Мрочек<sup>1</sup>, А. П. Войтович<sup>2</sup>, М. В. Войткова<sup>2</sup>  
Т. Г. Вайханская<sup>1</sup>, О. П. Мельникова<sup>1</sup>, А. П. Воробьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>РНПЦ «Кардиология», Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Институт физики, Минск, Беларусь

## Резюме

Разработан способ точной дифференциальной диагностики фибрилляции и трепетания предсердий, включающий выделение предсердной электрической активности из обычной ЭКГ с помощью метода независимых компонент и спектрального анализа предсердной компоненты. В диапазоне 2–8 Гц спектра подсчитывается количество гармоник. Одна гармоника соответствует трепетанию предсердий, если гармоник больше 1 — фибрилляции предсердий. Способ апробирован у 23 больных с мерцательной аритмией и ЭКГ из клинически верифицированной базы данных Инкарт.

**Ключевые слова:** диагностика, мерцательная аритмия, спектральный анализ, электрокардиография.

**Клин. информат. и Телемед.**  
2011. Т.7. Вып.8. с.65–69

## Введение

Электрическая активность предсердий (деполяризация) представлена на ЭКГ зубцом *P*, амплитуда которого не превышает 2,5 мм. При синусовом ритме определение его полярности и конфигурации, измерение длительности и вольтажа не представляют проблему. Однако при мерцательной аритмии (МА), вследствие хаотичной электрической активности предсердий, зубцы *P* замещаются многочисленными, нерегулярными зубцами *f*. Часть из них блокируется в атриовентрикулярном узле, остальные достигают миокарда желудочков, вызывая аритмические сокращения от 160 в 1 мин. и более. Быстрый, неравномерный и несинхронный ритм предсердий не способен создать эффективные сокращения предсердий, что приводит к ухудшению их сократительной функции и ослаблению фракции сердечного выброса. МА имеет две формы: фибрилляция предсердий (ФП) и трепетание предсердий (ТП). При тахисистолии ФП и ТП визуально трудно различить по ряду причин. Во-первых, мощность электрической активности желудочков в несколько раз превышает мощность активности предсердий и потому она их маскирует. Во-вторых, активность предсердий дополнительно скрывается шумами. В-третьих, по записям ЭКГ практически невозможно оценить частоту и регулярность предсердной активности. При кратности проведения 1:3 и 1:2 ТП трудно отличить от нормаль-

ного синусового ритма или синусовой тахикардии. В совокупности все эти факторы приводят к низкой надежности дифференциальной диагностики ФП/ТП. Альтернативные технологии, основанные на ЭФИ, топографии, МРТ, пока малодоступны для клиники. Так как у лиц, госпитализируемых по поводу нарушений сердечного ритма, частота МА достигает 33%, повышение точности диагностики представляет актуальную клиническую задачу [1].

**Цель работы:** разработка способа дифференциальной диагностики ФП/ТП по данным спектрального анализа предсердной электрической активности и его клиническая апробация.

## Материал и методы

Использованы 23 ЭКГ в 12 стандартных отведениях больных с пароксизмами МА, оцифрованные с частотой 1000 Гц и разрешением 22 бита, а также ЭКГ с пароксизмами МА из доступной базы ЭКГ-данных Института Кардиотехники, г. Санкт-Петербург ([www.incart.ru](http://www.incart.ru)). Клинические обследования выполнялись на 12-канальном цифровом электрокардиографе «Интекард» (Минск) с длительностью регистрации ЭКГ не менее 1 минуты. Данные предварительно очищались от сетевой наводки,

мышечной и дыхательной активности и затем подвергались цифровой обработке.

При анализе ЭКГ использовались методы главных компонент (principal component analysis), слепого разделения источников (blind source separation) и спектрального анализа, которые представлены в пакете программ MatLab 7.0.

## Результаты

Для повышения точности диагностики наджелудочковых аритмий желательно выделять электрическую активность предсердий отдельно. Вычитание из ЭКГ усредненного QRST комплекса — это традиционный подход получения остаточного сигнала атриальной активности. Метод предполагает независимость атриальной и желудочковой активности, а также регулярную морфологию комплекса QRST. Главными недостатками являются чувствительность к изменениям морфологии PQRST и неспособность подавления артефактов.

В последнее время при прецизионной обработке ЭКГ начали использовать новые подходы. Так, ЭКГ плода успешно отделена от ЭКГ матери с помощью метода главных компонент [3]. В работе [6] показано успешно выделение предсердной ЭКГ с помощью метода, основанного на максимуме правдоподобия. Свою эффективность доказал также метод слепого разделения источников [5].

В общем виде задача ставится так. Имеется сигнал, состоящий из нескольких независимых источников  $S = [s_1(t), s_2(t) \dots s_n(t)]$ . Наблюдается  $n$ -сигналов  $X = [x_1(t), x_2(t) \dots x_n(t)]$ , каждый из которых представляет линейную смесь источников  $S$ , связанную через матрицу  $A: X = AS$ . Требуется разделить сигналы  $X$ , на составляющие  $U = [u_1(t), u_2(t) \dots u_n(t)]$ , идентичные  $S$ . Для этого следует найти матрицу  $W$ , которая инвертирует процесс смешивания:  $U = WX$ . Поиск матрицы  $W$  является сутью метода разделения независимых источников. Выделение предсердной компоненты ЭКГ возможно при ограничении числа re-entry < 8, так как число независимых источников не должно превышать число наблюдаемых сигналов. В случае 12 отведений регистрируется 9 независимых сигналов и, естественно, функционирует основной источник — синусовый узел. Считается, что источники re-entry независимы, а время прохождения

их сигналов до грудных и лимбидных электродов ничтожно мало.

Перед применением анализа независимых компонент проводится вейвлет-преобразование ЭКГ-сигнала, которое эффективно подавляет шумы, а также увеличивает значение кurtosis (момент 4-порядка временного ряда ЭКГ), который в дальнейшем используется в качестве контрастной функции при анализе независимых компонент [7]. Результатом применения алгоритма Robust ICA к ЭКГ является выделение сигналов предсердной электрической активности, подавление шумов и артефактов, а также желудочковой активности сердца.

На рис. 1 представлен пример работы алгоритма выделения предсердной ЭКГ. Здесь представлены грудные отведения ЭКГ V1–V6 и предсердная электрическая активность в этих же отведениях Y1–Y6. Видно, что желудочковая компонента полностью подавлена. Цифровые предсердные ЭКГ дополнительно очищаются от шумов, артефактов и затем по данным их анализа можно разрабатывать различные диагностические алгоритмы для наджелудочковых аритмий. В частности, нами предложен алгоритм дифференциальной диагностики ФП/ТП. Выделенная предсердная ЭКГ подвергается частотному анализу методом быстрого преобразования Фурье. Анализируется ее спектр от 2 до 8 Гц, так как именно в этом диапазоне сосредоточена волновая активность предсердий. Подсчитывается количество гармоник (пиков) в спектре. При обнаружении одного пика диагностируется ТП, если же их количество больше единицы, диагностируется ФП.

Проведена клиническая апробация метода по результатам обработки цифровых ЭКГ-данных, содержащих пароксизмы МА. На рис. 2 представлен пример дифференциальной диагностики МА по клинически верифицированному эпизоду ФП у больного №149 из базы ЭКГ Института Кардиотехники, СПб. На левом графике (а) изображены грудные отведения V1–V6, под ними соответствующие им предсердные ЭКГ Y1–Y6. На графике (б) представлено наиболее мощное предсердное отведение Y1. Фрагмент предсердного сигнала Y1 подвергся частотному анализу с помощью метода Уэлча для 8012 точек в 4096-точечном окне Хэмминга с 50% перекрытием. Анализ спектра проводится в диапазоне 2–8 Гц. Ограничение диапазона повышает надежность, так как в анализ вовлекается только волновая активность предсердий. Компоненты спектра вне данной зоны могут отражать частоту сердечных сокращений, ее высшие гармоники и другие компо-

ненты, не относящиеся к электрической активности предсердий. Как видно из правого нижнего графика (в) на рис. 2 спектр предсердного сигнала Y1 содержит 4 гармоники. Максимальная гармоника расположена на частоте  $f_{max} = 3,5$  Гц и в ней сосредоточено 34,1% энергии спектра. Можно утверждать, что сигнал предсердной активности представляет собой смесь из 4-х независимых очагов возбуждения. Следовательно, у этого пациента действуют несколько эктопических очагов re-entry, благодаря которым возникли фибрилляционные волны разной амплитуды и частоты. В данном клиническом случае диагностируется ФП.

На рис. 3 изображен фрагмент клинически верифицированного эпизода трепетания предсердий у того же больного №149. Обозначения аналогичные рис. 2. Предсердный сигнал Y1 на верхнем правом графике (б) подвергся частотному анализу. Его спектр показан на нижнем графике (в). Видно, что в спектре содержится всего один пик на частоте  $f_{max} = 4,6$  Гц. Его спектральная мощность содержит 87,3 % всей энергии спектра. В данном случае циркуляция возбуждения в предсердиях идет по большому кругу re-entry, что соответствует современному определению трепетания или флаттера предсердий. С 100% вероятностью диагностируется эпизод трепетания предсердий.

## Обсуждение результатов

Нами продемонстрирован метод Robast ICA разделения предсердной ЭКГ от желудочковой. Что это дает? Во-первых, визуально проявляется электрическая активность предсердий без маскирования ее более мощной активностью желудочков. Во-вторых, в сочетании с частотно-временными методами (Фурье, Вейвлет) можно получить ряд количественных характеристик предсердной электрической активности. Например, установить количество эктопических очагов, а также частоту их возбуждения. В-третьих, можно контролировать коэффициент передачи возбуждения в желудочки через атриовентрикулярный узел.

Вышеперечисленные возможности этого метода могут найти свое применение в клинической практике.

1) По частоте фибрилляции или трепетания предсердий можно оценить

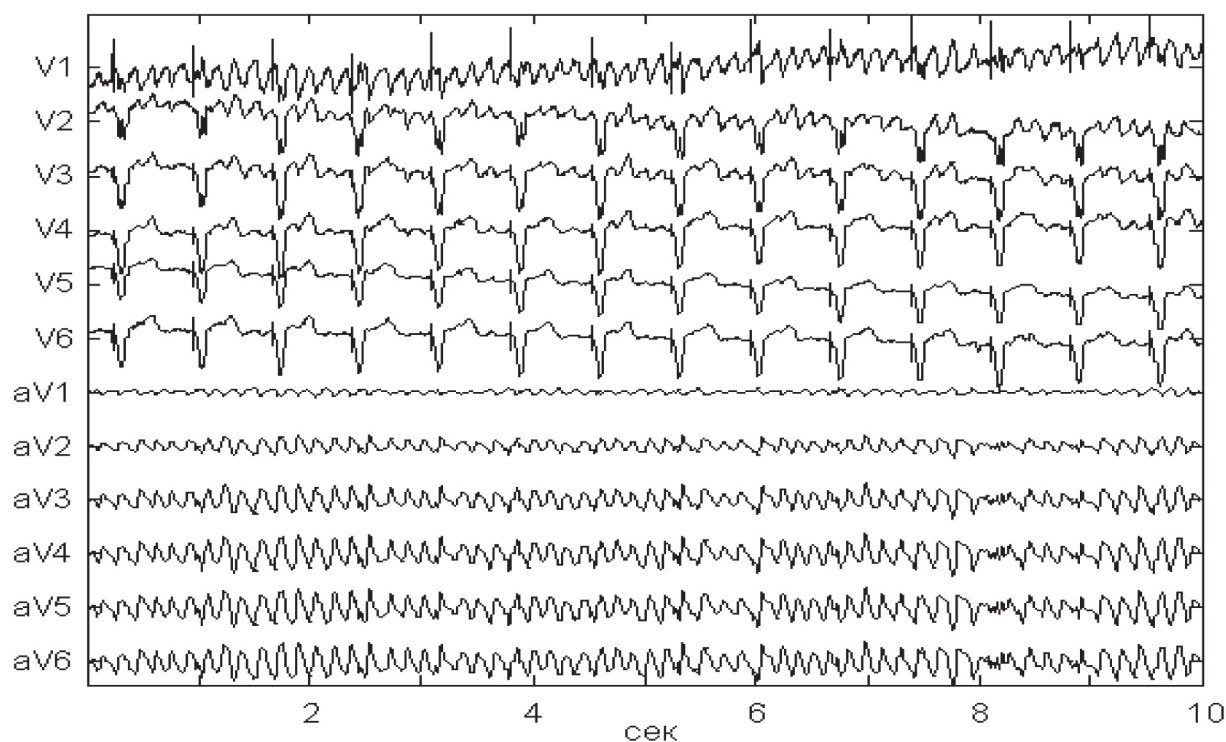


Рис. 1. Пример выделения предсердной электрической активности aV1–aV6 на основе метода слепого разделения источников. V1–V6 грудные отведения ЭКГ.

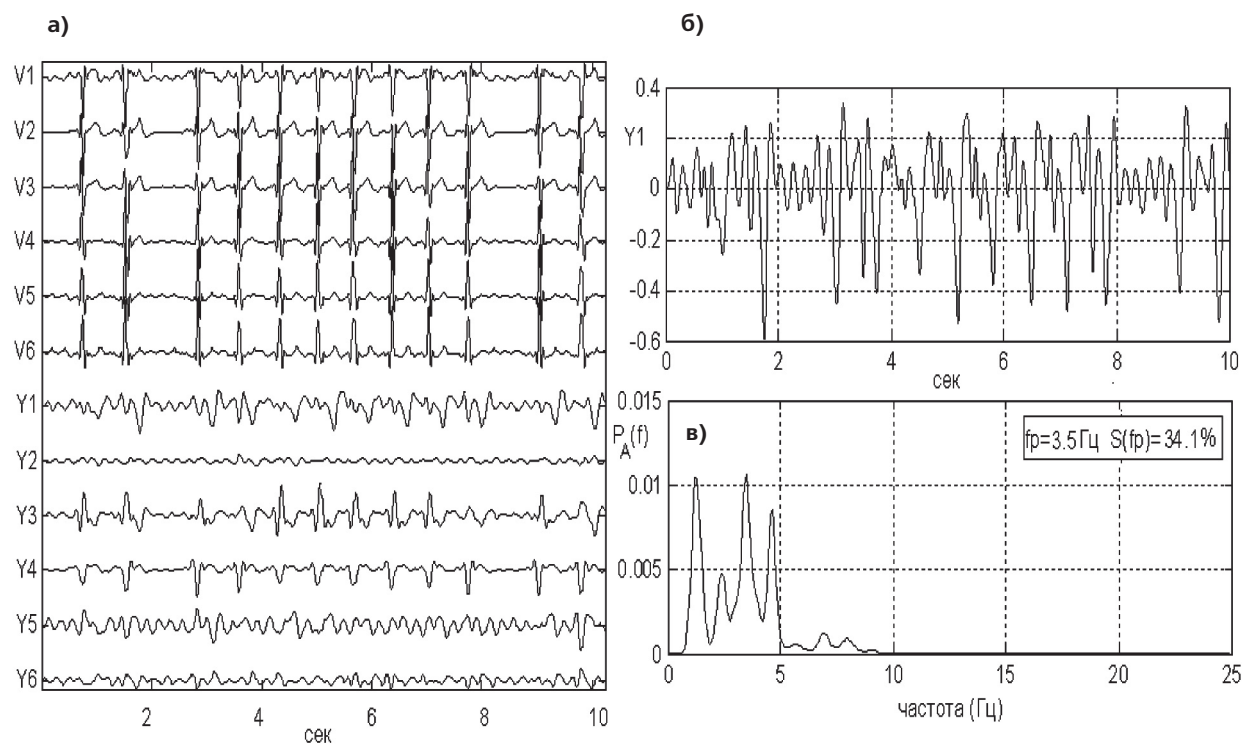
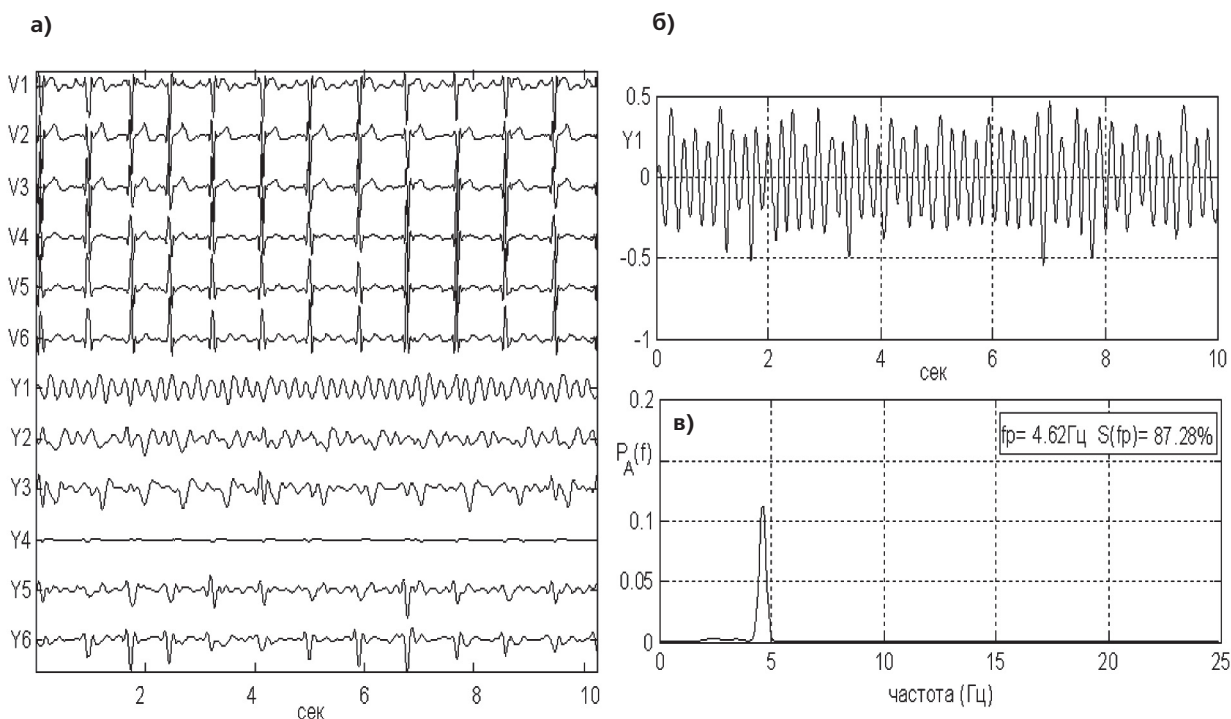


Рис. 2. Эпизод фибрилляции предсердий у больного №149 из базы данных Института Кардиотехники, СПб: а) 6 грудных отведений ЭКГ V1–V6, внизу в этом же окне предсердные ЭКГ Y1–Y6; б) наиболее мощное предсердное ЭКГ в отведении Y1 (масштаб увеличен); в) спектр предсердной ЭКГ, содержащий 4 пика в диапазоне 2–8 Гц.



**Рис. 3.** Эпизод трепетания предсердий у того же больного №149 из базы данных Института кардиотехники, СпБ: а) 6 грудных отведений ЭКГ V1-V6, внизу в этом же окне предсердные ЭКГ Y1-Y6, б) наиболее мощное предсердное ЭКГ в отведении Y1 (масштаб увеличен), в) спектр предсердной ЭКГ, содержащий один пик на частоте 4,6 Гц, его спектральная мощность 87,3%.

вероятность спонтанного прекращения пароксизма фибрилляции. В работе D.Husser et al [4] было показано, что высокая частота предсердной активности ассоциируется с устойчивостью МА к попыткам фармакологической кардиоверсии. И наоборот, чем ниже частота фибрилляции, тем вероятность спонтанного прекращения МА выше.

2) В качестве маркера эффективности действия антиаритмических препаратов можно использовать динамику эктопических источников re-entry и их частотные свойства. Адекватному лечению будут соответствовать те препараты, которые снижают количество очагов re-entry, а также их частоту.

Полученные результаты конкордируют с работами других авторов. А. И. Оферкин с соавт. [3] и К. Yoshida et al [8] убеждены в том, что спектр возбуждения предсердий обладает не только сигнальной, но пространственно-временной информацией, способной выделять зоны фибрилляционного миокарда по данным доминантной частоты спектра. При этом в данных работах анализировали не ЭКГ, а внутрисердечные электрограммы предсердий. Авторы пришли к важным выводам:

1) фибрилляционные зоны предсердий выделяются на участках с по-

вышенной доминантной частотой в отношении соседних участков;

2) при снижении доминирующей частоты на 11% и более антиаритмический эффект более 1 года сохраняется в 77% случаев, при менее 11% – только в 23%.

Таким образом, снижение доминантной частоты к концу радиочастотной абляции может служить критерием эффективности проведенной процедуры и предиктором сохранения противоритмического эффекта.

## Выводы

1. Частотный анализ предсердной ЭКГ точно дифференцирует ФП/ТП.

2. Снижение частоты предсердной эктопической активности служит критерием эффективности проводимого лечения.

3. Разработанная диагностическая технология основана на применении цифровой электрокардиографической аппаратуры, поэтому общедоступна для клинического применения.

## Литература

1. Недоступ А. В., Благова О. В., Богданова Э. А., Платонова А. А. Неинвазивный анализ ритма предсердий и желудочков при мерцательной аритмии: прошлое, настоящее и будущее метода в клинической практике. – М.: Медиа сфера, 2005.
2. Оферкин А. И., Петли А. И., Шпилевой М. П. Анализ электрической активности предсердий у пациентов с мерцательной аритмией // Вестник аритмологии. – 2010. – №ВА-61. – С.37–45.
3. Шульгин В. И., Токарев А. В. Метод регистрации и анализа электрокардиограммы плода в ходе беременности // Радиэлектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – том 3(30). – С.66–75.
4. Husser D., Sridh M., Sornmo L. et al. – Frequency analysis of atrial fibrillation from the surface electrocardiogram // Indian Pacing and Electrophysiology Journal. – Vol.4(3). – 2004. – P.122–136.
5. Millet-Roig J., Zarzocso V., Cebrian A. et al. – Surface ECG atrial activity extraction via blind source separation: spectral validation // Computers in Cardiology. – Vol.29. – 2002. – P. 605–608.
6. Sung-Nien Yu, Kuan-To Chou. – Selection of significant independent components for ECG beat classification // Expert Systems with Applica-

tions: An International Journal. – Vol.36(2). – 2009. – P.2088–2096.

7. Zarzoso V., Comon P. – Robast independent component analysis by iterative maximization of the kurtosis contrast with algebraic optimal step size // IEEE Trans.on neural networks. – Vol. 21(2). – 2010. – P.248–261.
8. Yoshida K., Chugh A., Good E. et al. – A critical decrease in dominant frequency and clinical outcome after catheter ablation of persistent atrial fibrillation // Heart Rhythm. – Vol.7. – 2010. – P.295–302.

### Analysis of atrial electrical activity for atrial fibrillation diagnostics

**A. Frolov, A. Mrochek, A. Voitovich  
M. Voitikova, T. Voikhanskaya  
O. Melnikova, A. Vorobiev**

<sup>1</sup> Republican Scientific and Practical Centre of Cardiology, Minsk, Belarus

<sup>2</sup> Institute of Physics, Minsk, Belarus

#### Abstract

The algorithm for precise differential diagnostics of atrial fibrillation and atrial flutter was developed. It consists of atrial ECG extraction by means of ICA-method and its spectral analysis. The number of spectral peaks in 2–8 Hz range is calculated. Atrial flutter is refer to one peak and atrial fibrillation is refer to more than one peak. Method was successfully tested with 23 patients with atrial fibrillation

or atrial flutter and digital ECGs from Incart ECG-database.

**Key words:** diagnostics, atrial fibrillation, spectral analysis, electrocardiography.

### Аналіз передсердної електрокардіограми з метою діагностики миготливої аритмії

**О. В. Фролов<sup>1</sup>, А. Г. Мрочек<sup>1</sup>  
А. П. Войтовіч<sup>1</sup>, М. В. Войтікова<sup>2</sup>  
Т. Г. Вайханська<sup>1</sup>, О. П. Мельникова<sup>1</sup>  
А. П. Воробйов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>РНПЦ «Кардіологія», Мінськ, Білорусь

<sup>2</sup>Інститут фізики, Мінськ, Білорусь

#### Резюме

Розроблено спосіб точної диференціальної діагностики фібриляції і трепетання передсердя, що включає виділення передсердної електричної активності із звичайної ЕКГ за допомогою методу незалежних компонент і спектрального аналізу передсердної компоненти. У діапазоні 2–8 Гц спектру підраховується кількість гармонік. Одна гармоніка відповідає трепетанню передсердя, якщо гармонік більше 1 – фібриляції передсердя. Спосіб апробований у 23 хворих з миготливою аритмією і ЕКГ з клінічно верифіцированої бази даних Інкарт.

**Ключові слова:** діагностика, миготлива аритмія, спектральний аналіз, електрокардіографія.

### Переписка

д.биол.н., **А. В. Фролов**

РНПЦ «Кардіологія»

ул. Р. Люксембург, 110

Мінськ, 220036, Беларусь

тел. +375 17 286 19 56

эл. почта: Frolov.Minsk@gmail.com