

АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ АРИТМИЯХ С СОХРАНЕННЫМ СИНУСОВЫМ РИТМОМ: ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КЛАСТЕРИЗАЦИИ

А.В. Мартыненко, Н.И. Яблучанский, С.В. Острополец

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Украина

РЕЗЮМЕ

Предложен метод, расширяющих границы приложений технологии вариабельности сердечного ритма (ВСР) с ее распространением на аритмии при сохраненном синусовом ритме. В основу разработанного метода положен физиологический подход к кластеризации ритмограммы, сформулированный в виде общего представления об эмпирической гладкости временного ряда. При разделении на независимые источники реальных записей ВСР удастся выделить гармонические и стохастические независимые источники, что подтверждает точность процедуры и адекватность ее результатов физиологическим представлениям о природе ВСР; вычисленные для разделенных источников величины общей мощности хорошо коррелируют с ожидаемыми величинами ТР ВСР для данных возрастных групп. Метод расширяет приложения технологии ВСР в медицинской практике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вариабельность сердечного ритма; аритмии сердца; эмпирическая гладкость временного ряда

В предыдущей статье [1] было показано, что проблема анализа ВСР при аритмиях с сохраненным синусовым ритмом успешно решается за счет выделения гармонической составляющей ритмограммы (источник – синусовый ритм) и стохастической. Разделение на составляющие в [1] производилось на основании стандартной процедуры кластеризации методом К-средних и выбора оптимального числа кластеров минимизирующих ошибку разложения ритмограммы в ряд Фурье. В [1] было продемонстрировано, что спектры гармонической составляющей адекватны возрастным нормам и физиологическим представлениям о ВСР.

Вместе с тем, очевидно, что при всей универсальности статистической кластеризации она не учитывает следующие важные особенности ритмограмм, служащих основанием для анализа ВСР:

1. формальный статистический подход к временному ряду (ритмограмме) не предполагает связанности (взаимозависимости) отдельных RR-интервалов, т.е. считает их статистически независимыми;

2. не учитывает наличие физиологических границ вариабельности синусового ритма.

Поэтому целью настоящей статьи является построение математического метода кластеризации, позволяющего выделить синусовый ритм наиболее точно, основываясь на физиологических представлениях о ВСР.

Исходным пунктом при построении процедуры кластеризации служат представления о том, что наблюдаемое

явление вариабельности сердечного ритма:

1. имеет четкие физиологические границы;

2. последовательные RR-интервалы не являются статистически независимы, а представляют связанный исторический ряд, где каждое последующее значение определяется предыдущими с известной физиологической границей вариабельности ряда.

Таким образом, математически мы постулируем два основных правила для кластеризации ряда. Элементы ряда принадлежат одному кластеру, если:

1. либо их значения не выходят за границу нормальной вариабельности математического ожидания кластера;

2. либо последовательные элементы во временном ряде не отличаются друг от друга более, чем на величину нормальной вариабельности.

Вместе с тем количество кластеров заранее не задается.

Указанные выше правила, по сути, выражают свойство эмпирической гладкости временного ряда, которое мы сейчас можем сформулировать:

пусть на интервале времени $[0, T]$ производятся измерения величины некоторой переменной X , ранжированные по мере возрастания времени X_i , $i=1, N$. Зададим два положительных числа δ_1 и δ_2 гораздо меньших единицы

$$\delta_1 \ll 1, \delta_2 \ll 1, \delta_1 > \delta_2.$$

Если на интервале $[0, T]$ для каждого элемента временного ряда выполняется одно из двух условий

$$\left| \frac{X_i}{M_i} - 1 \right| < \delta_1 \vee \left| \frac{X_i}{X_{i+1}} - 1 \right| < \delta_2,$$

то временной ряд является эмпирически гладким с точностью до δ_1, δ_2 . Здесь M_i – выборочное среднее для элементов ряда $1, i$.

Отметим, что предложенное определение не привлекает традиционного для математики понятия дифференцируемости функции, поскольку оно не применимо к дискретным наблюдениям временного ряда. И, скорее, наоборот, – установление эмпирической гладкости временного ряда позволяет утверждать, что использование гладких аппроксимаций (и соответствующих методов анализа) для такого ряда будет успешным.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве примера на рис.1 и 2 показаны исходные ритмограмма и спектр пациентки Б. По виду спектр рис.2 близок к спектру белого шума, а общая мощность спектра $TP=44290 \text{ мс}^2$ не отвечает каким либо

В отличие от предложенной процедуры метод кластеризации К-средних дает деление на 2 равнозначных кластера, что,

физиологическим нормам. Использование процедуры кластеризации К-средних было затруднено необходимостью выделения большого количества кластеров.

Использование процедуры кластеризации, построенной на физиологических принципах ВСР, позволило легко разделить спектры на гармоническую составляющую (рис.3) и стохастический шум (рис.4). Общая мощность гармонической составляющей спектра составила $TP=7220 \text{ мс}^2$.

Отметим еще одну важную особенность предложенной процедуры – корректное распознавание синусового ритма даже при наличии высокой изменчивости в частотной динамике. На рис.5 представлена ритмограмма синусового ритма без аритмий, но с высокой частотной динамикой.

На рис.6-7 даны спектры исходной ритмограммы и ритмограммы с выделенным синусовым ритмом, соответственно. Хорошо видно, что спектры совпадают.

естественно, приводит к искажению истинного спектра синусового ритма.

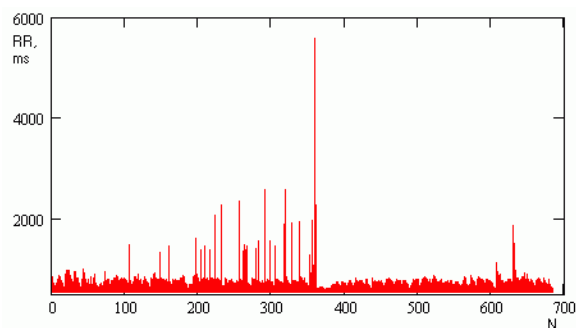


Рис. 1.

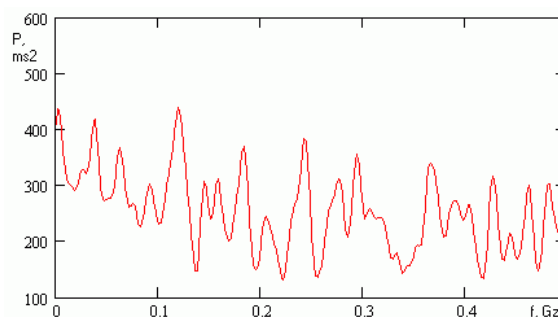


Рис. 2.

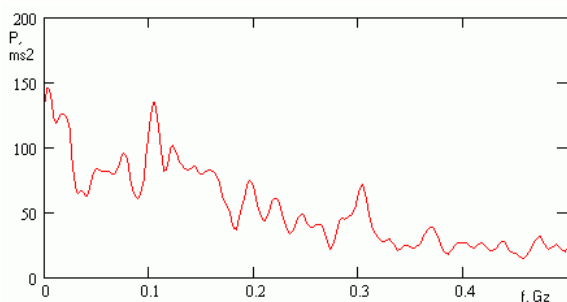


Рис. 3.

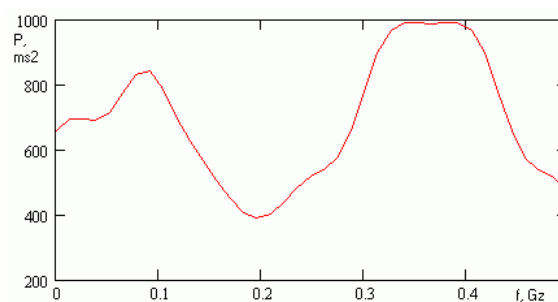


Рис. 4.

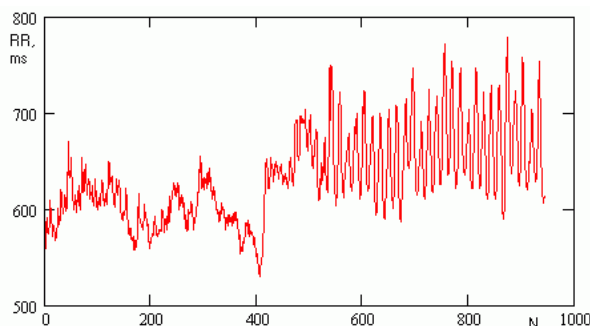


Рис. 5.

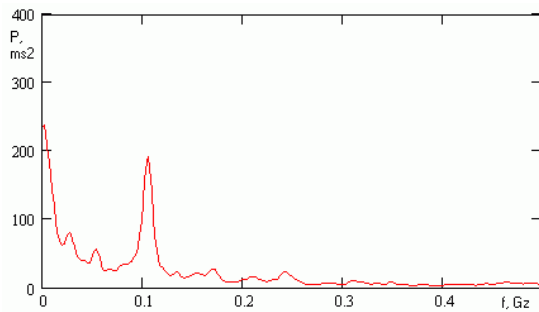


Рис. 6.

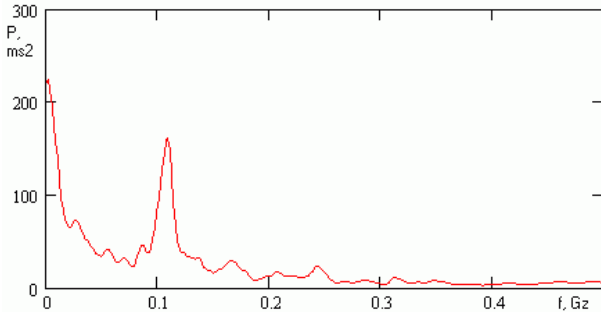


Рис. 7.

ВЫВОДЫ

Предложен математический метод, позволяющий использовать спектральные методы ВСР для анализа записей с аритмиями. В статье показано, что:

1. При разделении на независимые источники реальных записей ВСР удается выделить гармонические и стохастические независимые источники, что подтверждает точность процедуры и адекватность ее резуль-

татов физиологическим представлениям о природе ВСР;

2. Вычисленные для разделенных источников величины общей мощности хорошо коррелируют с ожидаемыми величинами ТР для данных возрастных групп.

Разработанный метод может быть использован и для корректной оценки ТР при аритмиях, и для детального анализа спектральных характеристик синусового узла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартыненко А.В., Яблучанский Н.И. // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія Медицина. - 2005. - № 705. - випуск 11. - С. 40-47.

АНАЛІЗ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ СЕРЦЕВОГО РИТМУ ПРИ АРИТМІЯХ ЗІ ЗБЕРЕЖЕНИМ СИНУСОВИМ РИТМОМ: ФІЗІОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО КЛАСТЕРІЗАЦІЇ

О.В. Мартыненко, М.І. Яблучанський, С.В. Острополец

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

РЕЗЮМЕ

Запропоновано метод, що розширює межі застосування технології варіабельності серцевого ритму (ВСР) з її розповсюдженням на аритмії при збереженому синусовому ритмі. В основу розробленого методу покладено фізіологічний підхід кластеризації ритмограм, що узагальнено на поняття емпіричної гладкості часового ряду. При розділенні на незалежні джерела реальних записів ВСР вдається виділити гармонійні і стохастичні незалежні джерела, що підтверджує точність процедури і адекватність її результатів фізіологічним уявленням про природу ВСР; обчислені для розділених джерел величини загальної потужності добре корелюють з очікуваними величинами ТР ВСР для даних вікових груп. Метод розширює застосування технології ВСР в медичній практиці.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: варіабельність серцевого ритму, аритмії серця, емпірична гладкість часового ряду

HEART RATE VARIABILITY ANALYSIS AT ARRHYTHMIA WITH SAVED SINUS RHYTHM: PHYSIOLOGICAL APPROACH FOR CLUSTERISATION

A.V. Martynenko, M.I. Yabluchansky, S.V. Ostropec

V.N. Karazin Kharkov National University, Ukraine

SUMMARY

The method extending spectral analysis of heart rate variability (HRV) application for patients with sinus arrhythmia was proposed. The method is based on rhythmogram physiological clusterization that generalized

as empirical smooth of time series. Proposed method exactly split mixed signal on true independent sources: we obtain stochastic and harmonic sources when we split real HRV records and TP of harmonic source good correlated with expected TP value for patients' age group. Thus method extends HRV technology for medical practice.

KEY WORDS: heart rate variability, arrhythmia, empirical smooth of time series