

ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КАК МЕХАНИЗМ АНАЛИЗА СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАРДИОИНТЕРВАЛОВ

¹Снежицкий В. А. (snezh@grsmu.by), ^{1,2}Сакович Т. Н. (sakovich_tn@mail.ru)

¹УО «Гродненский государственный медицинский университет», Гродно, Беларусь

²УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», Гродно, Беларусь

Введение. Сегодня, когда большинство процессов и явлений имеют периодическую структуру, которая не всегда однородна и зависит от ряда нерегулярных событий, классический спектральный анализ, основанный на преобразовании Фурье, не всегда позволяет объективно и достоверно провести исследование. Перспективной альтернативой классическому спектральному анализу может быть вейвлет-преобразование, базисом которого является хорошо локализованная как в частотной, так и во временной области функция, что позволяет анализировать нерегулярные процессы.

Цель исследования: проанализировать возможности вейвлет-преобразования в проведении анализа спектральных характеристик кардиологических временных рядов с некоторой неоднородностью. Разработать программное приложение, позволяющее проводить вейвлет-анализ данных, строить вейвлет-спектры, обладающие наглядностью и простотой в интерпретации полученных результатов.

Материал и методы. В качестве исследуемых временных рядов рассмотрено 37 кардиоинтервалограмм. В прикладном пакете *Mathematika 5.0* разработано приложение, позволяющее строить и анализировать вейвлет-спектры исследуемых данных.

Результаты. Разработан и наглядно представлен альтернативный метод анализа спектральных характеристик исследуемых кардиоинтервалограмм. Он позволяет наблюдать динамику изменения периодов на всем интервале наблюдения, без проведения дробления интервала, как этого требовал бы классический анализ Фурье.

Вывод: для исследуемых групп пациентов представлены обнаруженные с помощью вейвлет-преобразования периоды. Обоснованы преимущества применения вейвлетов над классическим спектральным анализом, который в случаях нестабильных временных рядов не позволяет отследить динамику изменения спектра данных.

Ключевые слова: кардиоинтервалограмма, вейвлет, спектральный анализ.

Введение

Анализ variability ритма сердца (ВРС) начал развиваться в начале 60-х годов. Это метод оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека, в частности, общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами нервной системы [1-3]. Следует отметить, что сфера применения метода анализа ВРС многогранна. Это обусловлено тем, что он является единственным доступным, неинвазивным, достаточно простым и относительно дешевым методом оценки вегетативной регуляции сердечного ритма.

Динамический ряд кардиоинтервалов может быть как стационарным, так и нестационарным процессом. Следует отметить, что на практике в каждой КИГ (кардиоинтервалограмме) содержатся элементы нестационарности.

Вариабельность сердечного ритма отражает сложную картину разнообразных влияний на систему кровообращения с интерференцией периодических компонент разной частоты и амплитуды, с нелинейным характером взаимодействия разных уровней управления. Структура сердечного ритма включает колебательные компоненты в виде дыхательных и не дыхательных волн, исследованием которых занимается спектральный анализ [4]. Однако классический спектральный анализ позволяет обнаружить присутствие частотной составляющей, но не может ответить на вопросы: является ли эта составляющая по-

стоянной; если нет, то в какой период времени она возникла или исчезла. Другими словами, обнаружить частоту (период) исследуемых данных можно, но ответить на вопросы, связанные с временным существованием этой частоты – невозможно.

Понятие «вейвлет» появилось сравнительно недавно. Дословно – «маленькая волна». Вейвлет-преобразование состоит в разложении сигнала по базису, сконструированному из знакопеременной функции с компактным носителем (функция отлична от нуля лишь на замкнутом интервале) [5]. В отличие от преобразования Фурье, оно обеспечивает двумерную (частота и время) развертку исследуемого одномерного сигнала, при этом частота и координата являются независимыми переменными, что дает возможность наблюдать динамику сигнала как во временной, так и в спектральной областях.

Вейвлет-анализ – это механизм исследования временных рядов с выраженной неоднородностью, демонстрирующих эволюцию во времени своих основных характеристик – среднего значения, дисперсии, периодов, амплитуд.

Цель исследования: проанализировать возможности вейвлет-преобразования в проведении анализа спектральных характеристик кардиологических временных рядов с некоторой неоднородностью. Разработать программное приложение, позволяющее проводить вейвлет-анализ данных, строить вейвлет-спектры, обладающие наглядностью и простотой в интерпретации полученных результатов.

Материал и методы

В качестве исследуемых временных рядов были рассмотрены RR-интервалы ЭКГ. Исследование RR-интервалов привлекательно тем, что указанные значения можно получить в виде отдельного файла в формате *.RRI (такая функция реализована в кардиорегистраторах «Кардиотехника», ИНКАРТ, Санкт-Петербург).

Было исследовано 37 КИГ, которые разбивались на 3 группы [6]. Сведения о кластеризации данных представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Группы обследованных пациентов

Пациенты с синусовым ритмом группа 1			Пациенты с фибрилляцией предсердий группа 2			Контрольная группа 3
Брадикардия (Б)	Норма (Н)	Тахикардия (Т)	Брадистоллическая (Б)	Нормостоллическая (Н)	Тахистоллическая (Т)	Пациенты с нормальным ритмом

Приведем описание метода анализа, который применяли для исследования спектра КИГ.

В качестве непрерывного вейвлет-преобразования функции $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ рассматривали:

$$W(a, b) = \frac{1}{|a|^{1/2}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt, \quad (1)$$

где $a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0$.

Входящая в выражение (1) функция $\Psi(t)$ называется вейвлетом. Символ $*$ означает процедуру комплексного сопряжения.

Параметр a определяет размер вейвлета и называется масштабом. Его аналогом в Фурье-анализе является период. Функциональный вид ядра в Фурье-преобразовании однозначно определен, в то время как вейвлет-преобразование одной и той же функции можно получить с помощью разных базисных функций.

Параметр b задает временную локализацию вейвлета и называется сдвигом. Он не имеет аналога в Фурье-преобразовании [7].

Величину

$$E(a, b) = |W(a, b)|^2 \quad (2)$$

называют плотностью спектра энергии. Эта величина определяет спектральную характеристику не только для масштаба, но и для параметра сдвига b . В противоположность этому величину

$$E_\omega(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} |W(a, b)|^2 db \quad (3)$$

называют глобальным спектром энергии. Она определяет распределение энергии по масштабам и является аналогом плотности спектра энергии [8].

Поскольку при обработке результатов измерений объектами являются не функции, определенные на всей временной оси, а временные ряды, длина которых всегда конечна, то введенные выше определения интегрального вейвлет-преобразования, локального и глобального энергетических спектров не позволяют ими воспользоваться напрямую. Поэтому указанным выше теоретическим понятиям (1)–(3) поставили соответствующие им оценки.

Рассматривали временной ряд, заданный значениями, следующими друг за другом с постоянным шагом Δt :

$$f_k = f(t_k), t_k = \Delta tk, k = 0, 1, \dots, N-1. \quad (4)$$

Определи амплитудную оценку вейвлет-преобразования в виде:

$$\hat{W}(a, b) = \frac{1}{n(a, b)} \sum_{k=0}^{N-1} f_k \psi^* \left(\frac{t_k - b}{a} \right), \quad (5)$$

где

$$n(a, b) = \sum_{k=0}^{N-1} \ell \frac{-1}{B} \left(\frac{t_k - b}{a} \right)^2, \quad (6)$$

причем параметр B определяется выбором вейвлета [8].

Оценка (5) вычисляется на дискретном множестве аргументов $a_i, b_j, i=0, \dots, N_a-1; j=0, \dots, N_b-1$. Существуют разные способы дискретизации аргументов.

Используя (5), ввели оценку локального спектра энергии

$$\hat{S}(a_i, b_j) = |\hat{W}(a_i, b_j)|^2. \quad (7)$$

Эту функцию называют скалограммой, подчеркивая тем самым ее способность описывать распределение энергии по масштабам. Оценка глобального спектра энергии имеет вид:

$$\hat{G}(a_i) = \frac{1}{N^*} \sum_j \hat{S}(a_i, b_j) \quad (8)$$

где N^* – число точек, по которым осуществляется осреднение. Эту функцию называют скейлограммой.

В прикладном пакете Mathematica 5.0 было разработано приложение, позволяющее строить амплитудную оценку вейвлет-преобразования исследуемого временного ряда (5), моделировать вейвлет-спектры (7), (8), которые дают возможность видеть и анализировать динамическую картину спектрального состава. Данное приложение позволяет выбрать анализирующий вейвлет в зависимости от целей, которые ставит перед собой исследователь.

Результаты и обсуждение

В качестве анализирующего вейвлета рассматривалась функция Морле [8]:

$$\psi(t) = e^{\frac{-t^2}{\alpha^2}} \left(e^{k_0 t} - e^{\frac{-k_0^2 \alpha^2}{4}} \right) \quad (9)$$

где $\alpha^2=2$ и $k_0=2\pi$. Графическое представление (9) – на рисунке 1.

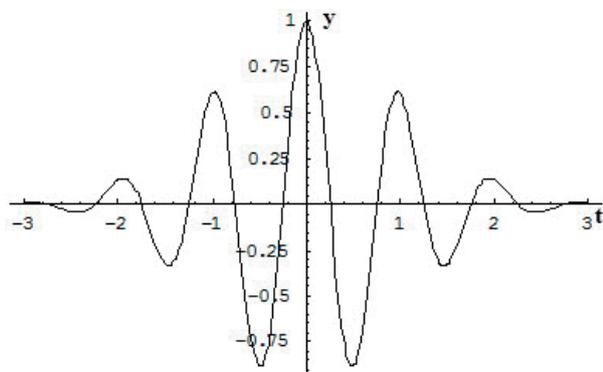


Рисунок 1. – Графическое представление вейвлета Морле

Вейвлет-анализ показал хорошие результаты при расшифровке электрокардиограмм (ЭКГ) и электроэнцефалограмм (ЭЭГ). Было показано, что аномальные эффекты в ЭКГ проявляются в основном на больших масштабах (низких частотах), в то время как нормальные структуры характеризуются малыми масштабами [9].

Для анализа эмпирическим путем был определен объем выборки исследования $N = 100$. Поясним выбор такого объема. Для примера проведем анализ КИГ объемом в 1000 значений (рис. 2-4).



Рисунок 2. – График исходных данных

При увеличении объема выборки пропадает возможность анализа высокочастотных составляющих КИГ. При этом наблюдается значительное уменьшение амплитуд вейвлет-коэффициентов. Из графика плотности скалограммы (рис. 4) видно, что увеличивается влияние стохастического компонента временного ряда – большое количество линий, идущих перпендикулярно оси времени. Поэтому для проведения более наглядного анализа, при котором можно отследить поведение временного ряда при малых зна-

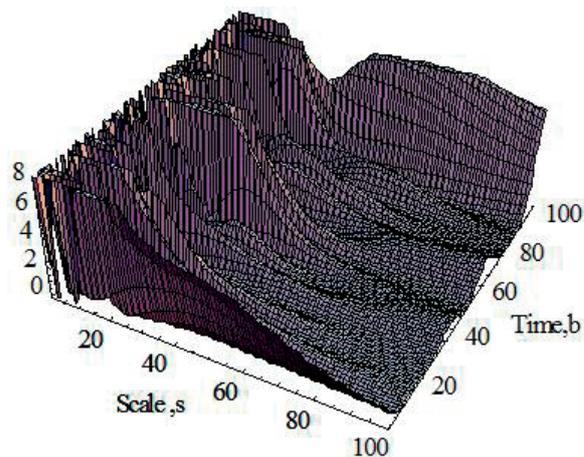


Рисунок 3. – Скалограмма

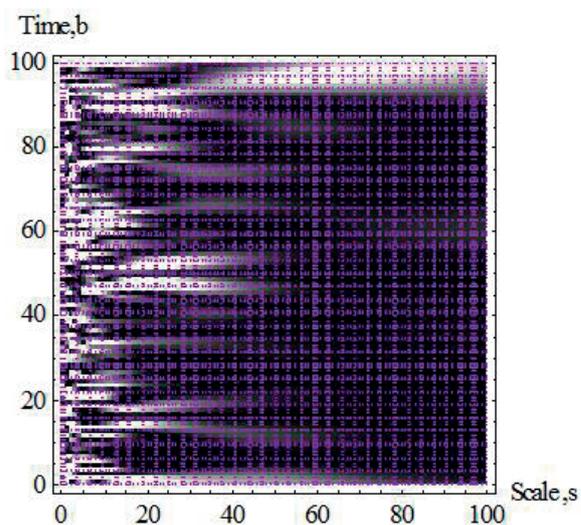


Рисунок 4. – График плотности скалограммы

чения периода (дыхательные волны), объем выборки оставим равным 100.

Приведем пример исследования одного пациента из 1-й группы с синусовым ритмом и с синдромом брадикардии (1-Б) (таблица 2).

На скелетоне вейвлет-преобразования можно выделить 3 постоянных периода: 15, 18, 25 (прямые, параллельные оси времени). Эти же периоды наблюдаются и на скейлограмме (локальные максимумы на графике). Период 56 тоже присутствует (его можно выделить на скейлограмме преобразования), но значения вейвлет-коэффициентов на данном периоде значительно ниже, поэтому его можно проигнорировать. Скалограмма и скелетон не обнаруживают периодов, возникших или пропавших за исследуемый интервал времени.

Приведем пример исследования первой группы пациентов с синусовым ритмом, пациент с нормальной динамикой ЧСС в течение времени наблюдения (1-Н) (таблица 3).

Таблица 2. – Исследование спектра КИГ, группа 1-Б

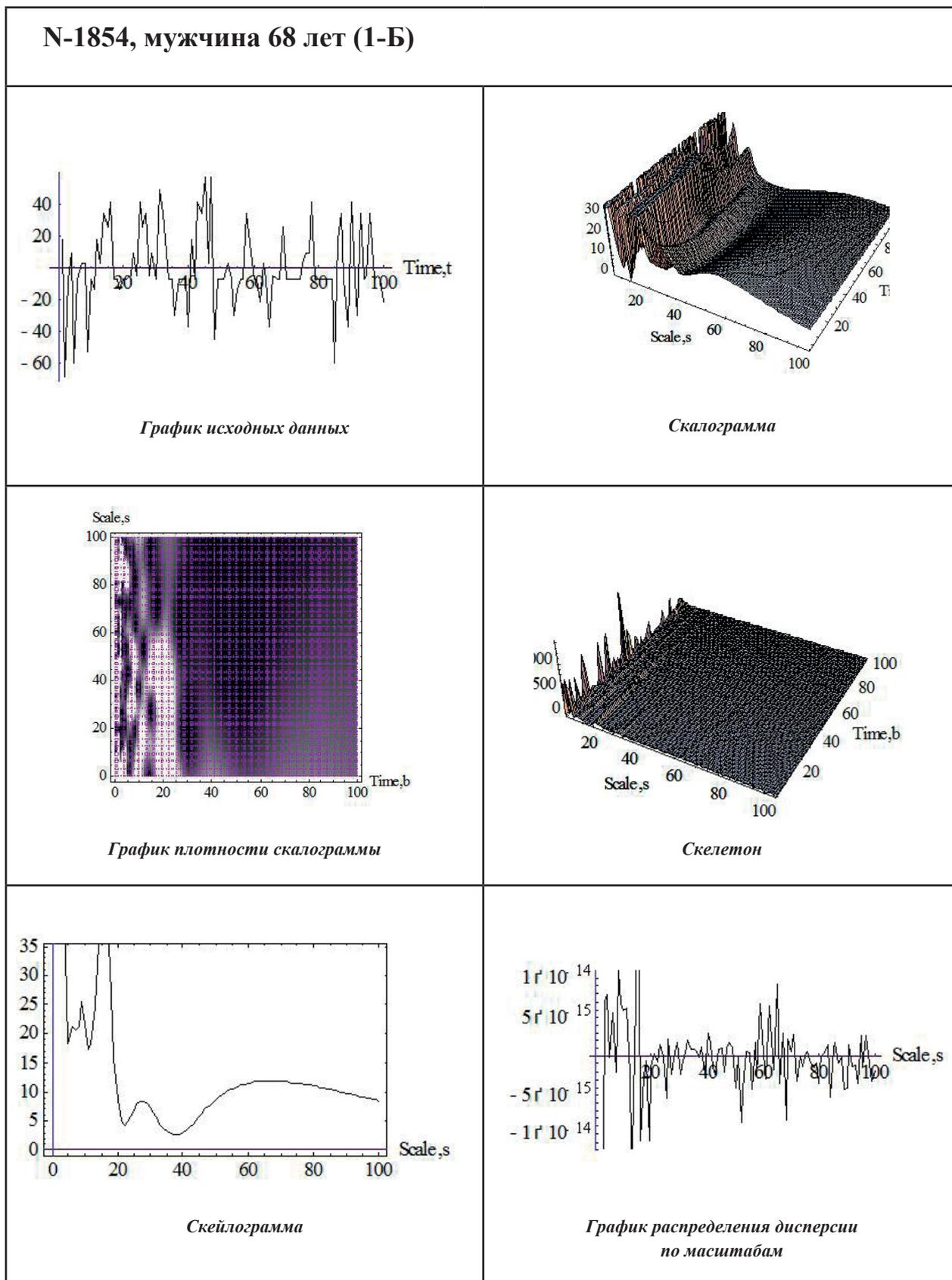
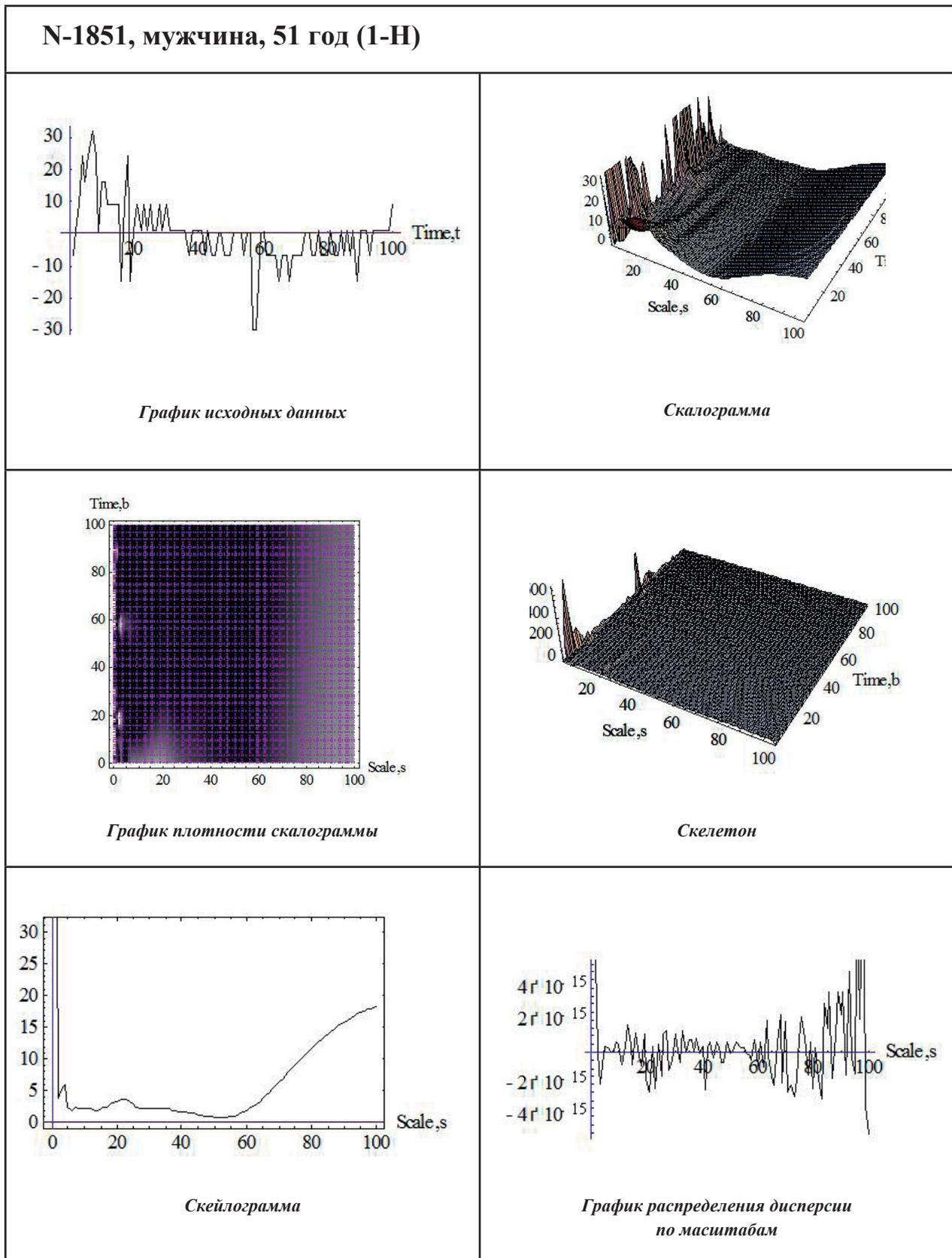


Таблица 3. – Исследование спектра КИГ, группа 1-Н



У данного пациента на исследуемом интервале наблюдений можно обнаружить период, равный 20 (небольшой всплеск на скейлограмме). На скалограмме видно, что вейвлет-коэффициенты набирают величину своих значений на выходе из исследуемого интервала. Следовало бы увеличить период исследования данных, чтобы обнаружить точку максимального всплеска значений вейвлет-коэффициентов.

Аналогичным образом были исследованы оставшиеся группы пациентов. Данные, полученные после обработки вейвлет-спектров, представлены в таблице 4.

Таблица 4. – Сведения о выявленных периодах RR-интервалов

Группа 1. Пациенты с синусовым ритмом					
Брадикардия		Норма		Тахикардия	
Выявляемые периоды (масштабы, s)					
N-1857, м, 66	18, 93	N-1892, м, 45	8, 25	N-1865, ж	20, 50
N-1859, м, 51	35	N-2131, м, 22	22	N-2188, ж	10, 38, 55
N-1860, м	20, 40, 60	N-2161, м, 38	18, 80	N-2226, м	25, 40
N-1854, м, 68	15, 18, 25	N-1851, м, 51	20	N-1113, ж	18, 38, 80
N-1863, м	18, 38	N-2173, ж	18, 33, 58	N-2191, ж	20, 30
Группа 2. Пациенты с фибрилляцией предсердий					
Брадисистолическая		Нормосистолическая		Тахисистолическая	
Выявляемые периоды (масштабы)					
N-12417, ж, 83	20, 38, 73	N-11887, ж, 78	22, 80	N-11861, м, 45	10, 15, 60
N-12588, м, 56	20, 38, 75	N-14376, м, 73	15, 40	N-11899, м, 50	38, 73
N-12673, м, 55	18, 30, 78	N-13605, ж, 48	18, 30	N-12888, м, 46	40
N-12830, м, 78	18, 30, 80	N-14090, м, 75	18, 80	N-13246, м, 62	15, 20
N-13124, ж, 76	22, 80	N-13634, м, 58	20	N-14074, ж, 74	15, 60
N-13175, м, 90	18, 22				
Группа 3. Здоровые люди					
Выявляемые периоды (масштабы)					
N-6382, ж, 35	22, 50				
N-7622, м, 23	15, 20, 60				
N-7652, м, 44	20, 30, 50				
N-7685, м, 38	20, 30, 70				
N-7823, м, 16	18, 38, 58				
N-7980, м, 41	15, 38, 65				

Жирным шрифтом выделены периоды, на которых наблюдалась увеличенная дисперсия

Выводы

На скалограммах исследуемых временных рядов максимальные значения вейвлет-коэффициентов наблюдались на малых значениях масштабов. Эти периоды соответствуют высококачественным составляющим спектра КИГ (так называемые дыхательные волны). Вейвлет Морле

позволяет наблюдать устойчивость присутствующих во временном ряду периодов (максимумы вейвлет-коэффициентов образуют параллельные оси времени прямые).

Первая группа пациентов с синдромом брадикардии (1-Б) – наиболее выявляемый период 18-20 – медленные волны первого порядка; присутствуют медленные волны второго порядка: 30-40. Группа 1-Н – присутствуют медленные волны первого порядка при значениях периодов в диапазоне от 20 до 25; не во всех исследованных рядах обнаружено присутствие очень медленных волн второго порядка. В группе 1-Т присутствуют периоды 18-20, а также периоды 38-40.

Во второй группе пациентов с брадисистолической формой фибрилляции предсердий (2-Б) четко просматриваются периоды: 18-20 – медленные волны первого порядка; 30-38 – медленные волны второго порядка; 78-80 – очень медленные волны. Период, присутствующий во всех исследованных рядах группы 2-Н (с нормосистолической формой фибрилляции предсердий) – 18-20. Максимальные значения вейвлет-коэффициентов сосредоточены в диапазоне от 1-10. В группе 2-Т (с тахисистолической формой фибрилляции предсердий) наиболее выявляемый период во всех исследованных рядах находится в диапазоне от 15 до 20 (медленные волны первого порядка).

В третьей группе данных (здоровые люди) выявлены следующие значения масштабов: 15-20; 30-38; 50-60 [9].

Подробные исследования частотных составляющих колебаний ритма сердца, классификацию спектральных компонентов можно найти в работах [10-12].

Вейвлет-преобразование позволяет достаточно удобно наблюдать за динамической картиной спектров временных рядов, обнаруживать моменты возникновения стохастических составляющих. В случаях, когда

классический анализ Фурье не имеет возможности исследовать частотный состав сигналов в силу несостоятельности построенных периодограмм, вейвлет-преобразование при правильном выборе анализирующего вейвлета является прекрасной альтернативой для изучения спектра.

Литература

1. Анохин, П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем / П. К. Анохин // Принципы системной организации функций. – Москва, 1973. – С. 5-61.
2. Баевский, Р. М. Кибернетический анализ процессов управления сердечным ритмом / Р. М. Баевский // Актуальные проблемы физиологии и патологии кровообращения : сборник научных трудов. – Москва, 1976. – С. 161-175.
3. Баевский, Р. М. Математический анализ измененный сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. И. Кириллов, С. З. Клецкин. – Москва : Наука, 1984. – 220 с.
4. Вариабельность ритма сердца: применение в кардиологии / В. А. Снежицкий, В. И. Шишко, Е. С. Пелеса, Е. В. Зуховицкая, М. С. Дешко. – Гродно : ГрГМУ, 2010. – 212с.
5. Грибунин, В. Г. Введение в анализ данных с применением непрерывного вейвлет-преобразования / В. Г. Грибунин. – Санкт-Петербург : АВТЭКС, 2002. – 30 с.
6. Хронотропная функция сердца : монография / В. А. Снежицкий, А. В. Раков, В. И. Шишко, М. С. Дешко, Н. В. Шпак, Е. А. Снежицкая, Т. Н. Снежицкая. – Гродно : ГрГМУ, 2011. – 220 с.
7. Труш, Н. Н. Практическое применение непрерывного вейвлет-преобразования к анализу временных рядов с выраженной неоднородностью / Н. Н. Труш, Т. Н. Сакович // Математическое и компьютерное моделирование систем и процессов : сборник научных статей / Учреждение образования "Гродненский гос. ун-т им. Я.Купалы"; гл. науч. ред. М. А. Матальцкий; ред. кол.: М. А. Матальцкий, М. К. Буза, Ю. М. Вувуникян, Е. А. Саксонов. – Гродно : ГрГУ, 2013. – С. 373-376.
8. Астафьева, Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения / Н. М. Астафьева // Успехи физиологических наук. – 1996. – Т. 166, № 11. – С. 1145-1170.
9. Снежицкая-Сакович, Т. Н. Вейвлет-преобразование как метод анализа спектральных характеристик : монография / Т. Н. Снежицкая-Сакович. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 97 с.
10. Correlations among time and frequency domain measures of heart period variability two weeks after acute myocardial infarction / J. T. Bigger [et al.] // Am. J. Cardiol. – 1992. – Vol. 69, № 9. – P. 891-898.
11. Power spectrum of heart rate variability: a non-invasive test of integrated neurocardiac function / E. L. Fallen [et al.] // Clin. Invest. Med. – 1988. – Vol. 11. – P. 331-340.
12. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain / A. Malliani [et al.] // Circulation. – 1991. – Vol. 84. – P. 482-492.

References

1. Anohin PK. Principialnye voprosy obshhej teorii funkcionálnyh sistem. In: *Principy sistemnoj organizacii funkcij*. Moskva; 1973. p. 5-61. (Russian).
2. Baevskij PM. Kiberneticheskiy analiz processov upravlenija serdechnym ritmom. In: *Aktualnye problemy fiziologii i patologii krovoobrashhenija*. Sbornik nauchnyh trudov. Moskva; 1976. p. 161-175. (Russian).
3. Baevskij PM, Kirillov OI, Kleckin SZ. Matematicheskiy analiz izmenenij serdechnogo ritma pri stresse. Moskva: Nauka; 1984. 220 p. (Russian).
4. Snezhickiy VA, Shishko VI, Pelesa ES, Zuhovickaja EV, Deshko MS. Variabelnost ritma serdca: primenenie v kardiologii [Heart rate variability: use in cardiology]. Grodno: GrGMU; 2010. 212 p. (Russian).
5. Gribunin VG. Vvedenie v analiz dannyh s primeneniem nepreryvnogo veyvlet-preobrazovanija [Introduction to the analysis of data using a continuous wavelet-transform]. Sankt-Peterburg: AVTJeKS; 2002. 30 p. (Russian).
6. Snezhickiy VA, Rakov AV, Shishko VI, Deshko MS, Shpak NV, Snezhickaya EA, Snezhickaya TN. Hronotropnaja funkcija serdca [Chronotropic function of the heart]. Grodno: GrGMU; 2011. 232 p. (Russian).
7. Trush NN, Sakovich TN. Prakticheskoe primenenie nepreryvnogo veyvlet – preobrazovanija k analizu vremennyh rjadov s vyrazhennoj neodnorodnost'ju [Practical application of the continuous wavelet-transform to the analysis of time series with pronounced heterogeneity]. In: Matalyckij MA, Buza MK, Vuvunikjan Ju M, Saksonov EA, editors. *Matematicheskoe i kompjuternoe modelirovanie sistem i processov* [Mathematical and computer modeling of systems and processes]. Sbornik nauchnyh statej. Grodno; 2013. p. 373-376. (Russian).
8. Astafeva NM. Veyvlet-analiz: osnovy teorii i primery primenenija [Wavelet analysis: basic theory and examples of application]. *Uspehi fiziologicheskikh nauk*. 1996;166(11):1145-1170. (Russian).
9. Snezhickaya-Sakovich TN. Veyvlet-preobrazovanie kak metod analiza spektral'nyh harakteristik [Wavelet-transform as a method of analyzing spectral characteristics]. LAP LAMBERT Academic Publishing; 2015. 97 p.
10. Bigger JT, Fleiss JL, Steinman RC, Rolnitzky LM, Kleiger RE, Rottman JN. Correlations among time and frequency domain measures of heart period variability two weeks after acute myocardial infarction. *Amer. J. Cardiol*. 1992;69(9):891-898.
11. Fallen EL, Kamath MV, Ghista DN. Power spectrum of heart rate variability: a non-invasive test of integrated neurocardiac function. *Clin. Invest. Med*. 1988;11: 331-340.
12. Malliani A, Pagani M, Lombardi F, Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*. 1991;84:482-492.

WAVELET TRANSFORM AS A METHOD OF ANALYSIS OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF CARDIOLOGICAL TIME SERIES

¹Snezhitskiy V. A., ^{1,2}Sakovich T. N.

¹Educational Institution «Grodno State Medical University», Grodno, Belarus

²Educational Institution «Ya. Kupala State University of Grodno», Grodno, Belarus

Background. Today, when most processes and phenomena have a periodic structure that is not always homogeneous and depends on a number of irregular events, the classical spectral analysis based on the Fourier transform does not always allow an objective and reliable investigation. A promising alternative to the classical spectral analysis can be a

wavelet transform, based on a well-localized function in both time and frequency domains, which allows us to analyze irregular processes.

The purpose of the research was to analyze the potentials of the wavelet transform for the analysis of the spectral characteristics of cardiological time series with some heterogeneity; to develop a software application that allows performing wavelet analysis of data and building wavelet spectra, which are illustrative and easy in interpreting the obtained results.

Material and methods. 37 cardiological time series were studied. We developed an application for the application package *Mathematika 5.0* that allows building and analyzing the wavelet spectra of the studied data.

Results. An alternative method for analyzing the spectral characteristics of the studied cardiological time series has been developed and clearly demonstrated. It allows observing the dynamics of the change in periods over the entire observation interval without performing the interval splitting, as would be required by the classical Fourier analysis.

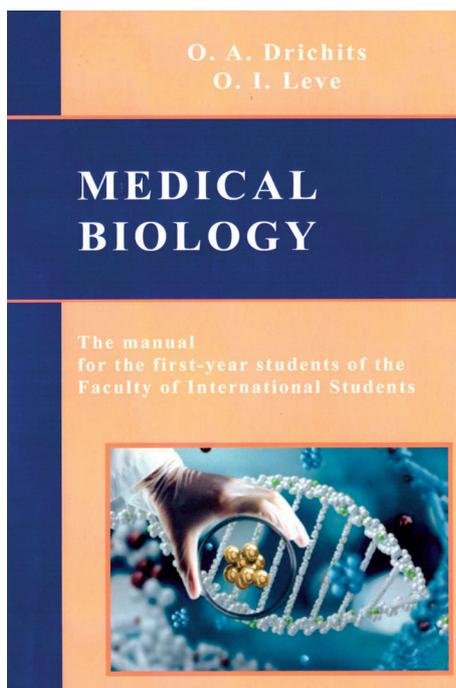
Conclusion. For the studied groups of patients the identified periods, found with the help of the wavelet transform have been presented. The advantages of using wavelets over the classical spectral analysis, which in cases of unstable time series does not allow tracking the dynamics of the changing in the data spectrum, have been demonstrated.

Keywords: cardiological time series, wavelet, spectral analysis.

Поступила: 18.09.2017

Отрецензирована: 02.10.2017

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ



Дричиц, Ольга Алексеевна. Медицинская биология : пособие для студентов факультета иностранных учащихся с английским языком обучения (специальность 1-79 01 01 "Лечебное дело") / О. А. Дричиц, О. И. Левэ ; Министерство здравоохранения Республики Беларусь, Учреждение образования "Гродненский государственный медицинский университет", Кафедра медицинской биологии и генетики = Medical biology : the manual for the first-year students of the Faculty of International Students / О. А. Drichits, О. I. Leve. – Гродно : ГрГМУ, 2018. – 167 с. : рис., табл. – Библиогр.: с. 165-166. – ISBN 978-985-558-928-1.

Lectures on medical biology are intended for the 1st year students of the Faculty of International Students. The material is presented according to the standard educational curriculum approved by the Ministry of Health of Belarus and to the current program of the Grodno State Medical University for the course in medical biology and genetics. The structure of the handbook allows a flexible presentation of the material on medical biology and genetics. In parasitology every parasite is described according to the following: localization, life cycle, symptoms of a disease, and diagnostics of a disease.

Учебное пособие «Медицинская биология. Лекции» написано для студентов первого курса факультета иностранных учащихся в соответствии с типовой учебной программой. В пособии изложены вопросы медицинской биологии и генетики, а также биологии важнейших паразитов человека, каждый из которых описан по следующим пунктам: локализация, цикл развития, симптомы вызываемого им заболевания, диагностика и профилактика заболевания.