

ВОЗМОЖНОСТИ ВЕЙВЛЕТНОГО АНАЛИЗА К ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РИТМА СЕРДЦА

Величко О.Н., Попов А.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. Биомедицинских электронных
приборов и систем, тел. (057) 702-13-06).

E-mail: olvel@list.ru.

Advantages of wavelet technologies to the cardiac rhythmograms analysis are justified. Advanced claims to the sequence of cardiac rhythmograms, including interpolation step and rhythmogram length. Impact of tip effects to the wavelet spectrum was considered. Wavelet analysis capabilities for research slow waves of different orders are revealed.

Введение. На современном этапе практическое использование методов анализа variability сердечного ритма (BCP) позволяет эффективно решать многие задачи диагностического и прогностического профиля, оценки функциональных состояний, контроля за эффективностью лечебно-профилактических воздействий и т.п. Однако возможности этой методологии далеко не исчерпаны и ее развитие продолжается.

К числу нерешенных задач можно отнести и изучение медленных волн 2-го порядка (VLF) и ультрамедленноволновых компонентов спектра сердечного ритма (ULF) - колебаний на частотах ниже 0,01 Гц (100 с), включая минутные и часовые волны (ультрадианные ритмы). Нами предлагается использование технологии вейвлетного анализа к оценке BCP, в связи с чем необходимо решить следующие задачи:

- сформулировать требования к кардиоинтервалограмме;
- обосновать перспективность применения вейвлетного преобразования для анализа кардиоинтервалограммы.

Сущность. Анализ BCP основан на измерении длительностей RR-интервалов ЭКГ и на формировании динамического ряда значений, которые визуально отображаются в виде кардиоинтервалограммы (ритмограммы). Методы анализа BCP можно разделить на три больших класса:

- исследование общей variability (статистические методы и временной анализ);
- исследование периодических составляющих BCP (частотный анализ);
- исследование внутренней организации динамического ряда кардиоинтервалов (методы нелинейной динамики, автокорреляционный анализ, корреляционная ритмография).

На базе этих методов был разработан также метод комплексной оценки по показателю активности регуляторных систем (ПАРС) [1].

Предпосылкой к использованию технологии вейвлетного анализа к задаче BCP является то, что вейвлетное преобразование (ВП) содержит комбинированную информацию об анализируемом сигнале и анализирующем вейвлете. Несмотря на это, ВП позволяет получить объективную информацию о сигнале, потому что некоторые свойства вейвлетное преобразование не зависят от выбора анализирующего вейвлета [2].

Основным свойством вейвлетного преобразования, принципиальным для анализа сложных нестационарных процессов, является способность сохранять

локальность представления сигнала, и, как следствие, локально реконструировать сигнал. Существует возможность выделить вклад определенного масштаба в тот или иной момент времени или реконструировать только часть сигнала. Фактически имеет место связь между локальным поведением сигнала и локальным поведением коэффициентов его вейвлетного преобразования. Под локальностью понимается то, что для реконструкции части сигнала необходимо рассматривать коэффициенты вейвлетного преобразования, относящиеся только к подобласти вейвлетного пространства. Именно благодаря выявлению локальных особенностей сигнала, принципиально отсутствующему у преобразования Фурье, ВП нашло широкое применение для анализа тонкой структуры сигналов. При этом стоит отметить, что ВП ни в коем случае не является заменой традиционного преобразования Фурье и не умаляет его достоинств и значимости при работе со стационарными процессами и когда нет необходимости исследовать локальную структуру сигналов (табл. 1). ВП позволяет посмотреть на исследуемый процесс с иной точки зрения.

Конкретный выбор анализирующего материнского вейвлета определяется тем, какую информацию необходимо извлечь из сигнала. Каждая базовая вейвлетная функция ψ_0 характеризуется различными свойствами, что позволяет, используя разные вейвлетные функции, выявить все особенности анализируемого сигнала $s(t)$. Сравнение свойств базовых вейвлетных функций (компактность носителя, реализация непрерывного и дискретного преобразования, возможность реконструкции) показал, что неоспоримыми преимуществами обладает дискретный вейвлет Мейера (dmeu).

Таблица 1 - Сравнительный анализ Фурье-преобразования и вейвлет-преобразования

Характеристики	Фурье-преобразование	Вейвлет-преобразование
1. Частотная локализация	+	+
2. Временное разрешение	-	+
3. Анализ нестационарных сигналов	-	+
4. Выявление локальных особенностей сигнала	-	+
5. Локальная реконструкция сигнала	-	+
6. Анализ тонких структур сигналов	-	+
7. Сжатие, очистка от шумов	-	+

Кардиоинтервалограмма представляет собой последовательность, в роли амплитуд которой выступают длительности кардиоинтервалов, а по временной оси откладываются их порядковые номера, что противоречит требованиям ВП. Поэтому нами предлагается предварительно интерполировать последовательность RR-интервалов с приведением к равномерному временному шагу 0,2 с. Выбор такого шага не является случайным. При проведении спектрального анализа с помощью преобразования Фурье при интерполяции кардиоинтервалограммы используют шаг, равный половине минимального кардиоинтервала. Зная, что между частотой f и масштабом a существует обратно пропорциональная зависимость, разный интервал дискретизации (шаг интерполяции) не изменит

вейвлетные коэффициенты $W(a,b)$, а лишь повлияет на их положение относительно масштаба. Уменьшение шага приведет к избыточности информации, увеличению вычислительных затрат, никак не повлияв при этом на точность самого вейвлетного анализа. Увеличение шага, напротив, может привести к потере информации.

Другой проблемой является область влияния краевых эффектов вблизи границ вейвлетного спектра, где появляются ошибки в расчетах функции $W(a,b)$. Наличие области, в которой результаты расчета вейвлетного спектра не верны, может быть качественно объяснено тем, что во-первых, вейвлетная функция $\psi\left(\frac{(b'-b)\Delta t}{a}\right)$ на данном конкретном масштабе a при приближении к границе начинает выходить за пределы рабочей области, и расчет значений $W(a,b)$ вблизи границ становится некорректным, во-вторых, ВП осуществляется для конечной временной реализации с числом отсчетов N . Отсюда очевидно, что область влияния краевых эффектов должна сужаться с уменьшением временных масштабов a . Под областью влияния краевых условий будем понимать область вейвлетного спектра $W(a,b)$ на плоскости (a,b) , где краевые эффекты становятся важными и ими уже нельзя пренебречь.

Одним из решений данной проблемы [3] является создание новой временной реализации x'_n длиной $2N$, в которой первые N отсчетов соответствуют исходному сигналу x_n , а следующие N позиций, начиная с $n=N$, заполняются нулями. Вейвлетное преобразование производится над новой суррогатной временной реализацией x'_n . Использование заполненной наполовину нулями суррогатной временной реализации x'_n при вейвлетном анализе приводит к появлению сильной неоднородности на границах исходного временного ряда x_n . Однако благодаря тому, что суррогатный временной ряд наполовину заполнен постоянной во времени величиной (нулями), возмущения, вносимые этой неоднородностью, лежат в области очень больших временных масштабов, в то время как спектр исходной неоднородности (которая формально существенно меньше внесенной) лежал бы в области масштабов анализируемого сигнала. Так что внесение такой неоднородности приводит к уменьшению амплитуды W около границ исходного ряда. Очевидно, чем больше будет длина той части суррогатного ряда, которая заполнена нулями, тем меньше влияние краевых эффектов. Использование для анализа ряда, в котором длина последовательности нулей равна длине исходного сигнала, видимо, является оптимальной в смысле баланса скорости вычислений, затрат машинной памяти и точности осуществления вейвлетного преобразования вблизи границ исходного временного ряда.

Проведенный анализ кардиоинтервалограмм пациентов, страдающих различными видами сердечно-сосудистых патологий, позволил выявить закономерности в структуре сигналов на определенных масштабах для четырех зон (рис. 1).

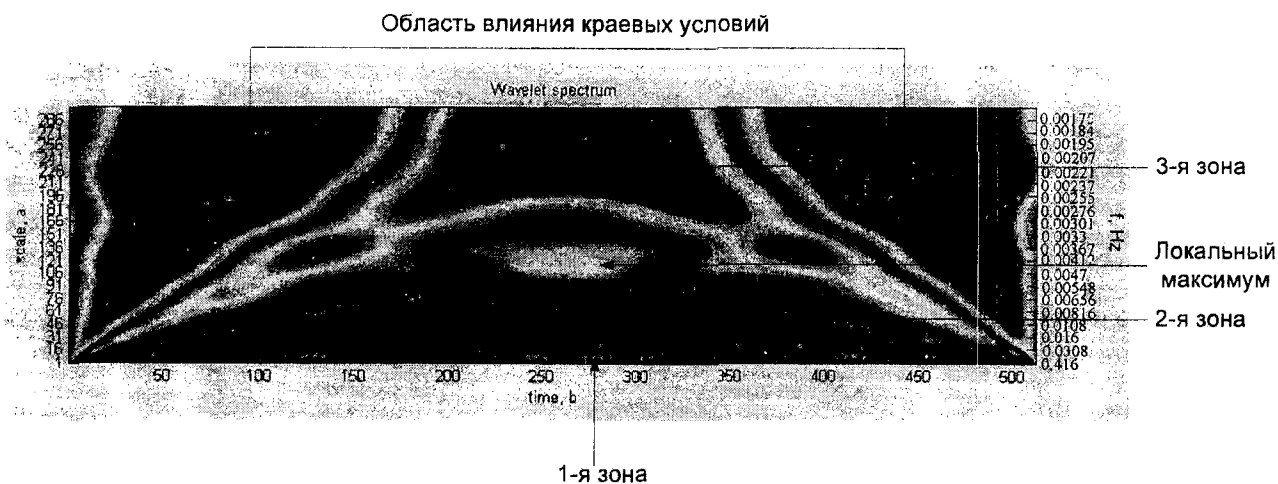


Рисунок 1 — Вейвлетный спектр, полученный при обработки кардиоинтервалограммы дискретным вейвлетом Мейера

Зона 1 в диапазоне масштаба от 1 до 16,2, что соответствует частотам от 0,2 Гц до 0,308 Гц. В данной зоне наблюдаются особенности периодического характера.

Зона 2 имеет 4 поддиапазоны:

- а) от 16,2 до 180 (0,308 - 0.00277 Гц);
- б) от 16,2 до 230 (0,308 - 0.00217 Гц);
- в) от 16,2 до 256 (0,308 - 0.00195 Гц);
- г) от 16,2 до 280 (0,308 - 0.00178 Гц).

Зона 3 также представлена 4 поддиапазонами:

- а) 180 - 299 (0.00277 - 0.00167 Гц);
- б) 230 - 299 (0.00217 - 0.00167 Гц);
- в) 256 - 299 (0.00195 - 0.00167 Гц);
- г) 280 - 299 (0.00178 - 0.00167 Гц).

Зона 4 соответствует области влияния краевых условий. Наблюдается на всем диапазоне масштаба, сужаясь на малых единицах масштаба и расширяясь по мере возрастания последних.

Кроме того, на всех кардиоинтервалограммах были обнаружены локальные особенности в виде максимумов на следующих диапазонах масштаба (частоты):

- а) 121 - 136 (0.00412 - 0.00367 Гц);
- б) 140 - 151 (0.00356 - 0.0033 Гц);
- в) 160 - 170 (0.00312 - 0.00294 Гц);
- г) 181 - 196 (0.00276 - 0.00255 Гц).

Полученные результаты подтверждают, что с помощью ВП могут быть получены качественно новые данные об особенностях кардиоинтервалограммы. Комплексный подход, включающий как разложение, так и реконструкцию сигнала в заданных диапазонах масштабов значительно расширит функциональные возможности существующих методов оценки ВСР.

Выводы. Сформулированы требования к кардиоинтервалограмме, включая шаг интерполяции и длину численной реализации, что позволяет зафиксировать границы диапазонов для масштабов и снизить влияние краевых эффектов. Показана целесообразность использования вейвлетного анализа к

исследованию медленных и ультрамедленных волн, путем изучения их тонкой структуры с помощью вейвлетного анализа и синтеза. Дальнейшие исследования в данной области являются перспективными и стимулируют поиск информативных показателей и разработку новых методик для оценки ВСР, которые могут быть использованы при создании специализированных компьютерных диагностических систем.

Литература: 1. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения. Ультразвуковая и функциональная диагностика. - М.: Медицина, 2001. - с. 106-127. 2. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования: Учеб. пособие. - Новосибирск: НГТУ, 2003. - 104 с. 3. Короновский А.А., Храмов А.Е. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 176 с.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ РЕОГРАФИИ ЛЕГКИХ

Величко О.Н., Карпенко С.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. Биомедицинских электронных
приборов и систем, тел. (057) 702-13-06.

E-mail: olvel@list.ru

Advantages and disadvantages of the method of delivery the rheogram of lungs for different respiratory phases were analyzed. Wavelet analysis advantages for research of rheogram fine structure for inspiration and expiration were revealed. The interpretation method of lung segment rheography results, based on digital wavelet analysis was offered.

Введение. При установлении патологии структурных изменений легких наиболее достоверными являются рентгенографические методы. В ходе лечения необходимо следить за динамикой развития заболевания или эффективностью проводимой терапии. Опасность получения пациентом высокой лучевой нагрузки делает невозможным частое использование рентгенографии. Таким образом, задача создания альтернативных методов автоматизированного выявления структурных изменений легких является актуальной.

Нами разработано информационное обеспечение для системы реографических исследований легких, которое базируется на двух разных методах обработки реограмм на вдохе и выдохе.

Цель доклада – показать возможности комплексного подхода для анализа реограмм с целью выявления патологий легочных структур.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач: 1) показать преимущества использования вейвлетной технологии для анализа реограмм; 2) провести сравнение двух методов обработки, используемых в системе реографических исследований легких.

Сущность. Авторами [1-3] было предложено использовать метод сравнения реограмм на вдохе и выдохе с использованием шести показателей: коэффициента отношения амплитуд систол на вдохе и выдохе, коэффициента степени близости, коэффициента корреляции, коэффициента отношения площадей под кривыми, значения базового сопротивления и его переменной