

SENS ' 2 0 0 6

Second Scientific Conference with International Participation
SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY
14 – 16 June 2006, Varna, Bulgaria

ОТНОСНО КОМПЛЕКСНИЯ СПЕКТРАЛЕН АНАЛИЗ НА ВАРИАБИЛНОСТТА НА СЪРДЕЧНИЯ РИТЪМ

Ст. Танев, Пл. Трендафилов, П. Генев

Институт за космически изследвания – Българска академия на науките
ул. Московска 6, София 1000, България

ABOUT COMPLEX SPECTRAL ANALYSE OF THE HEART RATE VARIABILITY

St. Tanev, Pl. Trendaphilov, P. Genov

Space Research Institut – Bulgarian Academy of Sciences
6 Moskovska Str., Sofia 1000, Bulgaria

Keywords : heart rate variability, wavelet analyse

Abstract

In the work are presented the priority of the wavelet analyze in comparison with traditional Fourier analyse. There are presented the results received after processing of both methods on the heart rhythmogram as a one of the main factors for evaluation and interpretation of heart rate variability.

Промяната на сърдечния ритъм е следствие на реакция на целия организъм в отговор на каквото и да е въздействие на външната среда. В определена степен то характеризира баланса между симпатиковия и парасимпатиковия дял на управление.

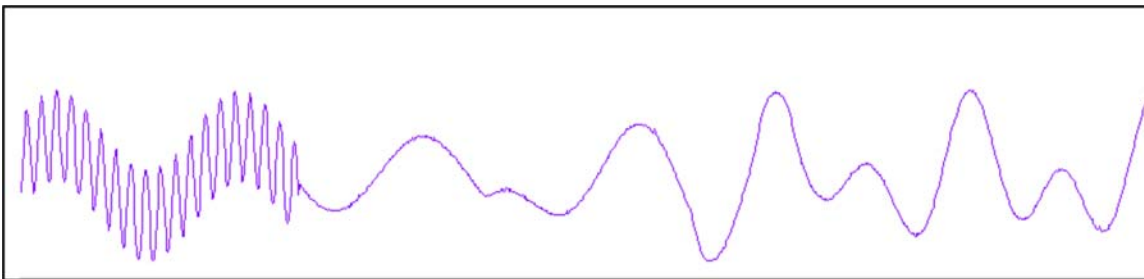
Спектралният анализ на 24 часов запис показва, че периодите на дневна активност и нощна почивка са израз на две различни състояния на вегетативната нервна система. Анализира се честотния диапазон от 0 до 0.5 Hz, който от своя страна се разделя на следните поддиапазони:

- фракция на високите честоти (HF) 0.5 – 0.35 Hz
- фракция на ниските честоти (LF) 0.15 – 0.35 Hz
- фракция на много ниските честоти (VLF) 0.05 – 0.15 Hz
- фракция на ултра ниските честоти (ULF) под 0.05 Hz

При здрави хора фракциите на LF и HF предствляват периодични взаимно свързани колебания с преобладаващо значение на LF през деня и HF през нощта. При продължителен запис фракциите HF и LF представляват 5 % от общата мощност, а VLF и ULF останалите 95 %. Под въздействието на различни фактори спектралната мощност на HF и LF фракциите могат да се увеличават, по което да се съди за различни състояния на човека, патологични нарушения или да бъдат предвестник на определени заболявания. При здрави хора нарастването на LF се наблюдава при проби с наклони, ортостатически проби, емоционален стрес и умерено физическо натоварване, а увеличаването на HF се наблюдава при проби с хипервентилация, охлаждане на лицето и въртене. При появяването или изчезването на различни честотни фракции в сигнала на сърдечната ритмограма и привързването им към времето в 24 часовия физиологичен цикъл може да се направят редица заключения относно физическото и здравословно състояние на човека.

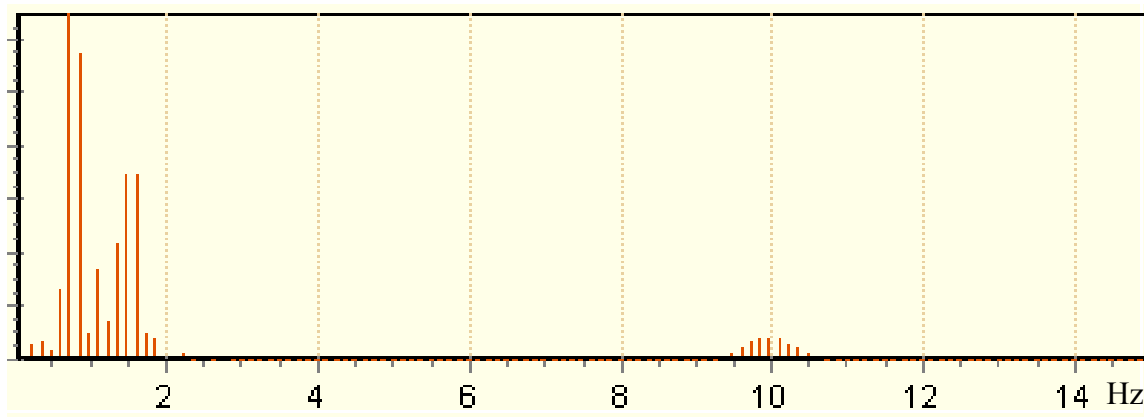
Анализът на вариабилността на сърдечната честота се прави за относително продължителни времеви интервали. Едно изследване може да трае от десет минути до 24 часа. Ако за обработка на ритмограмата се приложи добре познатото дискретно преобразуване на Фурие се получава информация само в честотната област, т.е. известни са спектралните съставни на сигнала за изследвания период без да се знае моментът когато те са се появили или изчезнали.

Този недостатък е онагледен с помощта на прост сигнал, съставен от три синусоидални сигнала с амплитуда един волт и честоти 10 Hz, 0.8 Hz и 1.6 Hz показан на фиг.1. Сигналът 0.8 Hz присъства през цялото време от разглеждания интервал с продължителност 8 секунди, сигналът 10 Hz присъства от началото до 1.9 сек. от началото на разглеждания интервал, а сигналът 1.6 Hz се появява от петата секунда до края на разглеждания интервал.



фиг.1

Честотата на дискретизация на сигнала е 128 Hz, като на графиката са изобразени 1024 отчета. Ако за тази последователност приложим бързо преобразуване на Фурие за 1024 точки при $F_d = 128$ Hz получаваме спектъра показан на фиг. 2, откъдето се вижда, че честотите влизащи в състава на сигнала присъстват в спектъра.



фиг.2

От показания спектър (фиг.2) не може да се определи кога във времето дадена спектрална съставна се е появила или изчезнала от анализирания сигнал.

Решение на този проблем дава непрекъснатия вълнов анализ (wavelet), при който се прилага различен похват от този на бързото преобразуване на Фурие. Вълновото преобразуване (Wavelet transformation) намира приложение в различни области на знанието, като биология, медицина, телекомуникации и много други. Благодарение на свойствата му за анализ на нестационарни сигнали (сигнали които променят статистическите си свойства във времето), wavelet преобразуването се превърна в мощно средство и алтернатива на Фурие метода в много медицински приложения, където преобладават множество такива сигнали.

Wavelet-преобразованието се определя като:

$$W_x(t, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int x(u) g^* \left[\frac{u-t}{a} \right] du \quad (1)$$

където $g(\square, t)$ – wavelet-функция, $*$ – означава комплексно спрягане, $x(u)$ – функция на сигнала.

Wavelet преобразуването осигурява много добра разделителна способност по време за високи честоти и удовлетворително разрешение по честота за низки честоти. Това е възможно дори при отсъствие на информация за характера на времевите и честотни параметри на сигнала.

Най-често използваната wavelet функция е функцията на Морлет (Morlet's wavelet) и се описва с:

$$g(t) = e^{j\frac{\omega_0}{a}t} e^{j\frac{t^2}{2a^2}} \quad (2)$$

Между многото известни до момента вълнови функции, функцията на Морлет притежава следните отличителни свойства:

- определя се от точна аналитична функция
- проста е за изчисление
- нейното прилагане води до квазилинейно представяне

Всяка функция използвана в качеството на wavelet трябва да удовлетворява следното необходимо условие:

$$\int g(t)dt \approx 0 \quad (3)$$

В случая, за функцията на Морлет това условие е изпълнимо за много голям обхват от значения на ω_0

Тъй като функцията е комплексна, тя се представя по следният начин: с реалната си и имагинерна части (4, 5)

$$g_r(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \cos(2\pi\nu_0 x) \quad (4)$$

$$g_i(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \sin(2\pi\nu_0 x) \quad (5)$$

Реалната част на функцията има вида показан на фиг.3.



Фиг.3

При анализа се използва реалната част на Морлет функцията от вида:

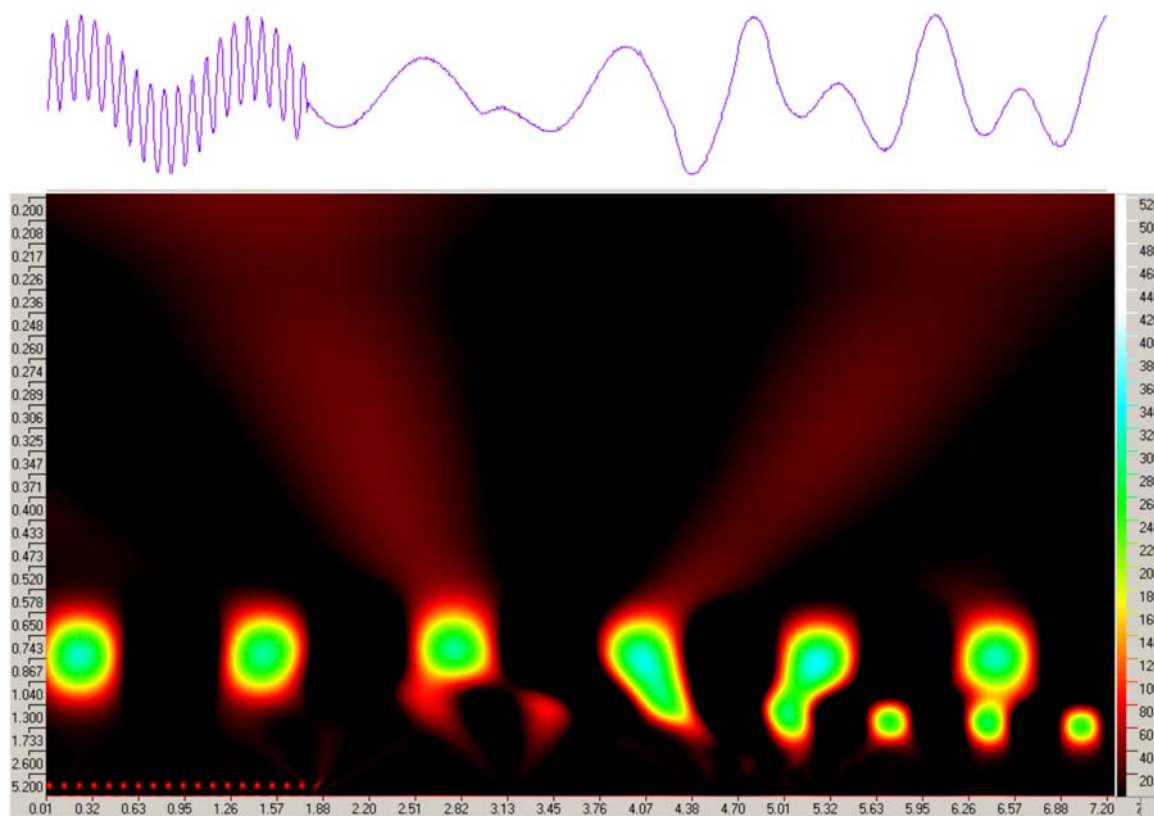
$$g(t) = e^{-\frac{t^2}{2a}} \cos(5\frac{t}{a}) \quad (6)$$

където t е времето, а a е мащаб на функцията, с които се определят честотно времеви параметри на еталона използван в корелационния анализ при обработката на сигнала.

Резултатът от анализа е показан на фиг.4

По ординатната ос на графиката са изобразени стойностите на честотата, а по абсцисата, стойностите на времето. Цветовия стълб в дясната част на графиката показва магнитуда(мощността) на всяка спектрална съставна.

Ясно се виждат моментите във времето, когато дадена честотна съставна изчезва и се появява в анализирания сигнал.



фиг.4

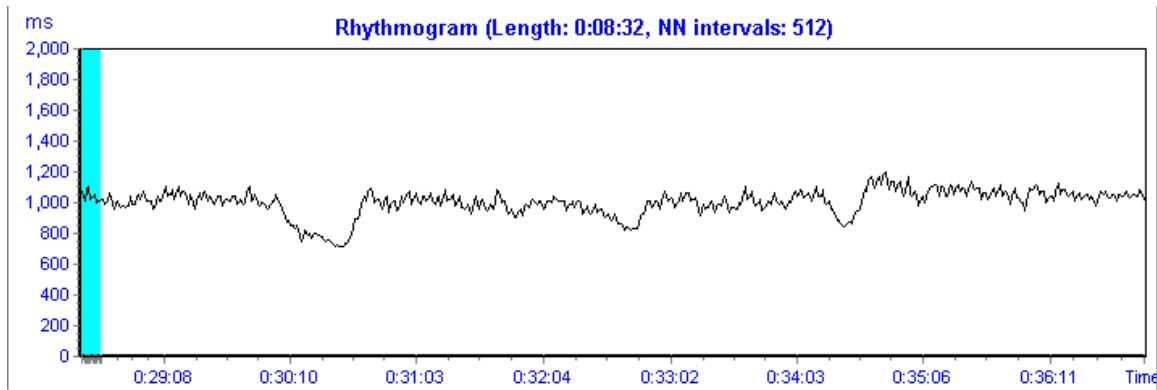
Описаното предимство дава много по-добри възможности за интерпретация на данните при анализ на вариабилността на сърдечната честота. При честотния и честотно времеви анализ на сърдечната вариабилност, основно се използва ритмограмата. По вида на ритмограмата е възможно да се определи периода на изменение на ритъма, а така също и да се направи заключение за вариацията на ритъма за разглеждания участък. При анализа на ритмограмата се използва приетия от стандарта параметър NN-интервал (normal-to-normal), който представлява всички нормални R-R интервали възникнали вследствие на деполяризация на синусовия възел. В съответствие със стандартите, анализът на вариабилността на сърдечната честота (ВСЧ) се прави на основата на обработване на масива от NN-интервали във времевата, честотната или честотно-времевата област известен като вълново преобразуване (wavelet).

За анализиране на ритмограмата е необходимо да бъде определена псевдо честота на дискретизация, която се определя от следната зависимост:

$$F_D = \frac{n}{\sum_{k=1}^{k=n} T_k} \quad (7)$$

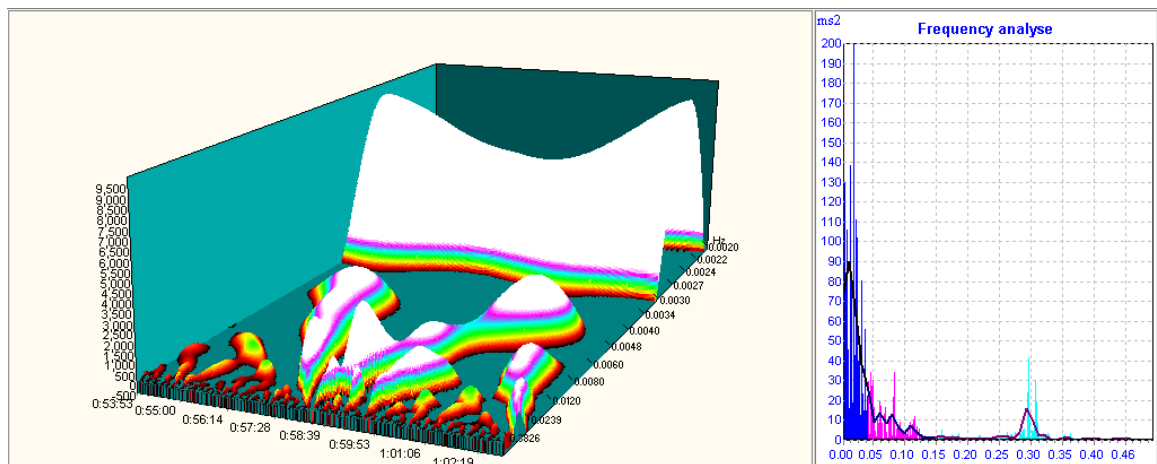
където n е броя на всички нормални RR интервали включени в състава на ритмограмата а T_k периода от време на k -тия NN интервал.

Ритмограмата е графика на междусистоличните интервали при която, на ординатната ос са отразени стойностите на продължителността на сърдечния цикъл, а по абсцисната ос времето или поредния номер на сърдечния цикъл фиг5.



фиг.5

След като приложим честотен (Фурие) и вълнов анализ върху изображения на фиг.5 сигнал получаваме следният резултат показан на фиг.6.



фиг.6

От фиг. 6 се вижда момента на появяване на спектралните съставни с честота 0.3 Hz свързани с дихателните движения на гръдния кош, момента на появяване на спектралната съставна с честота 0.08 Hz и ултра ниските честоти, които пресъществуват през цялото време на анализирания 10 минутен период от време. С помощта на вълновия анализ по-лесно и точно могат да бъдат предсказвани редица сърдечно съдови разстройства, такива като миокарден инфаркт, внезапна сърдечна смърт, мозъчни тромбози, преходни миокардни исхемии, които се проявяват в наличието на по-високи честоти в спектъра на ритмограмата.

Предразположението към вентрикулни тахикардии и внезапна сърдечна смърт у пациенти прекарвали миокарден инфаркт е по-високо в случаи с данни от спектралния анализ на ВСЧ с преобладаване на симпатиковия тонус, особено в сутришните часове и намален вагусов тонус през нощните периоди.

В заключение може да бъде обобщено, че прилагането на вълновия анализ съвместно с използвания до момента честотен анализ при обработка на ритмограмата

допринася за по-пълни и точни резултати при изследването на сърдечната вариабилност, както при здрави така и при хора с различни патологични здравни отклонения.

В настоящия етап метода на wavelet анализа на ВСР едва сега започва да се внедрява, което изисква провеждането на много допълнителни изследвания. За да намери широко клинично приложение е необходимо на първо място да бъдат създадени количествени критерии за оценка на ВСР с помощта на вълновото преобразуване на сигнала. Перспективите при прилагане на wavelet анализа не са само в терапевтичната практика. Методът може да помогне в изучаването на влиянието на различни средства за наркоза и аналгетици, в акушерството за оценка на риска на вътрешноутробната смърт на плода, в неврологията при болестта на Паркинсон и множествената склероза. По-задълбоченото изследване на ВСЧ ще позволи да се разширят представите за физиологическите процеси в организма, действието на лекарствените препарати и механизмите на много заболявания.

ЛИТЕРАТУРА :

1. I.Daubechies, Orthonormal Basis of Compactly Supported Wavelets, Comm. Pure Applied Mathematics, vol.41, 1988, pp.909-996.
2. S.Mallat, A Theory of Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation, IEEE Trans. Pattern Analysis and machine Intelligence, vol.11, 1989, pp.429-457.
3. D.Donoho, I.Johnstone, G.Kerkyacharian, D.Picard, Density Estimation by Wavelet Thresholding, Technical Report, Department of Statistics, Stanford University
4. Neykova M., Taneva L., About the Problem-Oriented Approach in hardware and software engineering education, Proceeding of the Conference ET 2004, book 1, p.175-180, Sozopol 22-24, 2004
5. Morlet D., Couderc J.P., Touboul P., Rubel P., Wavelet analysis of high-resolution ECGs in post-infarction patients: role of the basic wavelet and of the analyzed lead. (International Journal Biomedicine Computing, Jun- 1995, Vol. 39(3)., P.311-325)