

# Indicadores de la VRC calculados en dominio de la frecuencia

Mario Estévez Báez<sup>1</sup>

Andrés Machado García<sup>2</sup>

José M. Estévez Carrera<sup>3</sup>

Material publicado originalmente en formato html en:

librosabiertos:indicadores\_de\_la\_vrc\_calculados\_en\_dominio\_de\_la\_frecuencia. InfoWiki. November 7, 2007, 10:13

CST. Available at:

[http://infomed20.sld.cu/wiki/doku.php?id=librosabiertos:indicadores\\_de\\_la\\_vrc\\_calculados\\_en\\_dominio\\_de\\_la\\_frecuencia&rev=1194448416](http://infomed20.sld.cu/wiki/doku.php?id=librosabiertos:indicadores_de_la_vrc_calculados_en_dominio_de_la_frecuencia&rev=1194448416). Accessed November 7, 2007.

## Resultados del periodograma y procesamiento ulterior

Como mostramos en otro momento, como resultado del cálculo de la densidad espectral de potencia mediante el procedimiento del periodograma, ya sea el clásico o el suavizado por el método de Welch, vamos a obtener un conjunto de valores para cada frecuencia discreta, representados por números complejos con un valor real y otro imaginario. Como ya también se detalló, la densidad espectral de cada frecuencia discreta analizada en el proceso se obtiene por el sencillo cálculo representado por la siguiente expresión:

$$P_k = \text{Re}^2 + \text{Im}^2 ;$$

Donde  $P_k$  es el valor de potencia espectral correspondiente a una k-ésima frecuencia discreta y Re e Im son los valores de la parte real e imaginaria del resultado de la aplicación del periodograma para la frecuencia discreta dada. Por su parte, si el software utilizado lo permite, se puede calcular además la llamada amplitud espectral, o energía espectral de amplitudes de cada frecuencia discreta, utilizando la expresión:

$$A_k = \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2} ;$$

Donde  $A_k$  es la amplitud espectral de la k-ésima frecuencia discreta y Re e Im son los valores de la parte real e imaginaria del resultado de la aplicación del periodograma para la frecuencia discreta dada.

## Significación fisiológica de las bandas espectrales de la VRC

En la actualidad existen bandas de frecuencia del espectro del ritmo cardíaco, a las cuales se les ha demostrado una significación funcional determinada.

---

<sup>1</sup> Doctor en Medicina, Especialista de Fisiología de Segundo Grado, Investigador Titular, Profesor Consultante, Doctor en Ciencias Médicas, Académico Titular AIA, Instituto de Endocrinología y Enfermedades Metabólicas MINSAP.

<sup>2</sup> Licenciado en Cibernética-Matemática, Profesor Auxiliar, Maestro en Ciencias de la Computación Facultad de Biología, Universidad de La Habana, MES.

<sup>3</sup> Licenciado en Informática, Instituto Superior de Medicina Militar "Dr. Luis Díaz Soto"

Las frecuencias en la banda por debajo de los 3.3 milihertzios (mHz.), constituyen la llamada banda de ultra baja frecuencia. Han sido expuestas vinculaciones de los componentes en esta banda, con los mecanismos termorreguladores del organismo y con el sistema renina-angiotensina (Bigger J.T. et al., 1992 a; Bigger J.T. et al., 1992 b, Pichot et al. 2005).

Las frecuencias entre 3.3 y 40 mHz constituyen la llamada banda de frecuencias muy bajas y se vincula con el nivel de catecolaminas circulantes y el nivel del tono simpático fundamentalmente (Valkama J.O. et al., 1993; Akselrod S. et al., 1985, Adachi Y. et al. 2006, Sztajzel et al. 2005).

Las frecuencias entre 40 y 150 mHz forman la banda de frecuencias bajas y se relaciona con las ondas de Mayer de la tensión arterial, con la aferencia de los barorreceptores y con la eferencia simpática (Lombardi F. and Malhani A., 1992; Saul J.P. et al., 1990, Huang et al. 2006, Ogata et al. 2006, Tsuchiya S. et al. 2006, Ueno LM. et al 2006,).

Las frecuencias entre 150 y 400 mHz constituyen la banda alta de frecuencias, la cual en general se acepta que representa principalmente a la actividad parasimpática vagal y en especial la relacionada con el proceso de regulación respiratoria y su interrelación con el ritmo cardíaco (Pomeranz B. et al., 1985; Randall D.C., et al., 1991; Appel S. et al., 1992; Hayano J. et al., 1991, Watanabe T. et al 2006, Oka H. et al. 2006). Las frecuencias en esta última banda tienen su pico habitualmente cerca de los 0.25 Hz y por encima de los 0.5 Hz no se observa actividad significativa.

El Grupo de Trabajo para la normalización de los estudios de la VFC, (Task Force, 1996) ha definido las denominaciones y modos de calcular la mayoría de los indicadores que serán expuestos en este Capítulo y recomendamos que se respeten sus criterios, para guardar una homología entre investigadores y estudios que se realicen en este campo. No obstante, en los últimos 10 años a partir de que se emitió este reporte, las investigaciones han ido mostrando el interés por el estudio de otros indicadores y con este fin los desarrollamos algo más en los próximos acápite.

## **Energía espectral (de potencia o amplitudes) absoluta**

Para cada banda espectral, se puede calcular la sumatoria de los valores correspondientes a la potencia o amplitud espectrales, que se acostumbra denominar energía espectral absoluta de esa banda, si se han tomado en cuenta los valores de potencia espectral:

$$EP_i = \sum_{k=m}^n P_k ;$$

donde  $i$  representa el valor de la frecuencia discreta espectral;  $m$  el límite inferior considerado para la banda;  $n$  el límite superior, en tanto  $P_k$  es la potencia espectral correspondiente a la frecuencia discreta  $k$ . Igualmente, la energía absoluta de las amplitudes espectrales de una banda se calcularía mediante la expresión:

$$EA_i = \sum_{k=m}^n A_k ;$$

donde i representa igualmente el valor de la frecuencia discreta espectral, m el límite inferior considerado para la banda, n el límite superior, en tanto  $A_k$  es la potencia espectral correspondiente a la frecuencia discreta k.

La energía absoluta de potencia espectral o de amplitudes espectrales de una secuencia de cardiointervalos R-R analizada, constituirá la llamada energía de potencia espectral total, o energía de amplitudes espectrales totales, de la secuencia dada. Por tanto, al analizar una serie de intervalos R-R dada, vamos a obtener los valores de energía de potencia absoluta para cada banda analizada (o de energía de amplitudes según el caso), así como la energía espectral total, que será la sumatoria de la energía espectral de potencia (o de amplitudes) de todas las bandas estudiadas. Suponiendo que el registro analizado de la secuencia de R-Rs posea la necesaria duración podremos obtener los valores que se muestran en la próxima Tabla.

Bandas estudiadas	Indicadores calculados
Banda de ultra baja frecuencia (UBF) Frecuencia < 3.3 mHz	EA_UBF
Banda de muy baja frecuencia (MBF) Frecuencia 3.3 – 40 mHz	EA_MBF
Banda de baja frecuencia (BBF) Frecuencia 40 – 150 mHz	EA_BBF
Banda de alta frecuencia (BAF) Frecuencia 150 – 400 mHz	EA_BAF
Energía total del espectro	EA_TOTAL

Hay elementos para independizar, además de las anteriores, una porción de la banda de bajas frecuencias, que se encuentra en el diapasón de 100 a 150 mHz y que se acostumbra denominar como banda de media frecuencia. En este caso, de considerarse su independencia, habría dos valores para representar a las frecuencias en la banda de bajas frecuencias: el segmento de la banda BBF de 40 a 100 mHz y el segmento de la BMF de 100 a 150 mHz, aunque debe siempre calcularse la suma de ambos como la correspondiente a la BBF propiamente dicha. En dependencia del software que se utilice para el procesamiento, éstos indicadores podrán ser ajustados por el usuario.

## Energía espectral (de potencia o amplitudes) normalizada

Una forma muy utilizada para caracterizar el espectro de una serie de intervalos R-R sometida al análisis espectral, es la de calcular el porcentaje de la energía que representa la energía absoluta encontrada para cada banda. La manera de calcular estos indicadores es sencilla:

$$ER_{banda} = (EAbs_{banda} \times 100) / EA\_Total$$

donde  $ER_{banda}$  energía relativa de la banda que deseamos calcular,  $EAbs_{banda}$  es la energía absoluta de esa banda y  $EA\_Total$  es la energía total (ya sea de amplitudes o potencias) del espectro calculado.

## Relación de energías espectrales

La relación entre las potencias o amplitudes de las bandas constituye un indicador que brinda una buena información acerca del predominio de una u otra banda con respecto a las demás. Para registros de corta duración se utilizan principalmente la relación de energía de la banda de bajas frecuencias con respecto a la de altas frecuencias. A esta relación BBF/BAF se la ha considerado indicador del predominio simpato-vagal del individuo y por tanto resulta de gran importancia entre los indicadores en dominio de la frecuencia. Ello no es óbice para que podamos calcular otros indicadores relacionales, tales como:

- Relación UBF + MBF + BBF / BAF.
- Relación MBF + BBF / BAF
- Relación BBF + BMF / BAF
- Relación BMF / BAF

En las dos últimas expresiones se le presta atención a la subdivisión de la banda de bajas frecuencias en sus dos constituyentes, la de los componentes espectrales de 40 a 100 mHz y de 100 a 150 mHz.

## Frecuencia pico en el espectro

La frecuencia pico se calcula para cada banda analizada y corresponde al valor de la frecuencia discreta con un valor de potencia o amplitud espectral mayor en el intervalo de frecuencias de cada banda. En otras palabras: la frecuencia discreta con el valor más alto de potencia o amplitud en la banda.

## Frecuencia promedio de bandas

Este indicador se calcula para cada banda aplicando la siguiente expresión:

$$F_{prom} = \sum_{k=m}^n f_k \times P_k / EAbs_{banda}$$

donde  $f_k$  frecuencia discreta  $k$ ,  $P_k$  potencia o amplitud de la frecuencia discreta  $k$ ,  $m$  es el límite inferior de la banda y  $n$  el límite superior de dicha banda.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J* 1996 Mar;17(3):354-81.
2. Akselrod S., Gordon D., Madwed J.B., Snidman N.C., Shannon D.C., Cohen R.J. (1985) Hemodynamic regulation: investigation by spectral analysis. *Am. J. Physiol.* 249 (Heart Circ. Physiol 18): H867-H875.
3. Appel S., Kuritzky A., Zahavi I., Zigelman M., Akselrod S. (1992) Evidence for instability of the autonomic nervous system in patients with migraine headache. *Headache* 32: pp. 10-17.
4. Adachi, Y., Y. Nakajima, M. Satomoto, K. Morita, M. Doi, and S. Sato, [The heart rate variability in mice: telemetric evaluation of endotoxin shock]. *Masui*, 2006. 55(4): p. 436-40.
5. Bigger J.T., Fleiss J.L., Steinman R.C., Rolnitzky L.M., Kleiger R.E., Rothman J.N. (1992 a) Frequency domain measures of heart period variability and mortality after myocardial infarction. *Circulation*, 85: pp. 164-171.
6. Bigger J.T., Fleiss J.L., Rolnitzky L.M., Steinman R.C. (1992 b) Stability over time of heart period variability in patients with previous myocardial infarction and ventricular arrhythmias. *Am. J. Cardiol.*, 69; pp. 718-723.
7. Hayano J., Sakahibara Y., Yamada A., Yamada M., Mukai S., Fujinami T., Yokoyama K., Watanabe Y., Takata K. (1991) Accuracy of assessment of cardiac vagal tone by heart rate variability in normal subjects. *The American Journal of Cardiology* 67: pp. 199- 204.
8. Huang, C.J., C.H. Kuok, T.B. Kuo, Y.W. Hsu, and P.S. Tsai, Pre-operative measurement of heart rate variability predicts hypotension during general anesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2006. 50(5): p. 542-8.
9. Lombardi F. and Malliani A. (1992) Power spectral analysis of R-R variability. *G. Ital. Cardiol.* Apr, 22(4): pp. 501-509.
10. Ogata, T., M. Nomura, Y. Nakaya, and S. Ito, Evaluation of episodes of sleep apnea in patients with liver cirrhosis. *J Med Invest*, 2006. 53(1-2): p. 159-66.
11. Oka, H., S. Mochio, K. Onouchi, M. Morita, M. Yoshioka, and K. Inoue, Cardiovascular dysautonomia in de novo Parkinson's disease. *J Neurol Sci*, 2006. 241(1-2): p. 59-65.
12. Pichot, V., F. Roche, C. Denis, M. Garet, D. Duverney, F. Costes, and J.C. Barthelemy, Interval training in elderly men increases both heart rate variability and baroreflex activity. *Clin Auton Res*, 2005. 15(2): p. 107-15.
13. Pomeranz B., Macaulay R.J.B., Candill A., Kutz I., Adam D., Gordon D., Kilbom K.M., Barger A.C., Shannon D.C., Cohen R.J., Benson H. (1985) Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *Am. J. Physiol.* 248 (Heart Circ. Physiol. 17): H151-H153.
14. Randall D.C., Brown D.R., Raisch R.M., Yingling J.D., Randall W.C. (1991) SA nodal parasympathectomy delineates autonomic control of heart rate power spectrum. *Am. J. Physiol.* 260 (Heart Circ. Physiol 29): H985-H988.

15. Saul J.P., Rea R.F., Eckberg D.L., Berger R.D., Cohen R.J. (1990) Heart rate and muscle sympathetic nerve variability. *Am. J. Physiol.* 258 (Heart Circ. Physiol 27): H713- H721.
16. Sztajzel, J., G. Atchou, R. Adamec, and A. Bayes de Luna, Effects of extreme endurance running on cardiac autonomic nervous modulation in healthy trained subjects. *Am J Cardiol*, 2006. 97(2): p. 276-8.
17. Tsuchiya, S., N. Kanaya, N. Hirata, S. Kurosawa, N. Kamada, M. Edanaga, M. Nakayama, K. Omote, and A. Namiki, Effects of thiopental on bispectral index and heart rate variability. *Eur J Anaesthesiol*, 2006: p. 1-6.
18. Ueno, L.M., E.S. Frazzatto, L.T. Batalha, I.C. Trombetta, M. do Socorro Brasileiro, C. Irigoyen, P.C. Brum, S.M. Villares, and C.E. Negrao, Alpha2B-adrenergic receptor deletion polymorphism and cardiac autonomic nervous system responses to exercise in obese women. *Int J Obes (Lond)*, 2006. 30(2): p. 214-20.
19. Valkama J.O., Huikuri H.V., Airaksinen K.E., Linnaluoto M.K., Takkunen J.T. (1993) Changes in frequency domain measures of heart rate variability in relation to the onset of ventricular tachycardia in acute myocardial infarction. *Int. J. Cardiol.*, Feb. 38(2): pp.177-182.
20. Watanabe, T., M. Nomura, K. Nakayasu, T. Kawano, S. Ito, and Y. Nakaya, Relationships between thermic effect of food, insulin resistance and autonomic nervous activity. *J Med Invest*, 2006. 53(1-2): p. 153-8.