

**ARTÍCULO ORIGINAL**

Estimación de la edad cardiovascular a partir de tacogramas de 2 minutos de duración mediante Análisis de Cuantificación de Recurrencias

**Estimation of cardiovascular age from 2 minute tachograms via Recurrence Quantification Analysis**

**M. Sc. Alexander Ruiz Dondérez,<sup>I</sup> Dra. C. Arahi Sixto Pérez,<sup>II</sup> Dr. C. José Luis Hernández Cáceres<sup>III</sup>**

I Profesor Auxiliar. Vicedecano de Servicios, Facultad de Ciencias Médicas "Diez de Octubre". E-mail: [alexrdz@infomed.sld.cu](mailto:alexrdz@infomed.sld.cu)

II Profesora Titular. Vicedecana Académica, Facultad de Ciencias Médicas "Diez de Octubre". E-mail: [arahisixto@infomed.sld.cu](mailto:arahisixto@infomed.sld.cu)

III Profesor Titular. Facultad de Ciencias Médicas "Diez de Octubre". E-mail: [cacerjlh@infomed.sld.cu](mailto:cacerjlh@infomed.sld.cu)

---

**RESUMEN**

Se han reportado diferentes intentos de estimar la edad cardiovascular a partir de señales electrofisiológicas. Las propuestas publicadas presentan inconvenientes para su aplicación en la práctica clínica. Nos hemos propuesto estimar la edad cardiovascular a partir de tacogramas de 2 minutos de duración utilizando una medida no lineal (logaritmo del porcentaje de determinismo,  $\log(\text{DET})$ ), obtenido a partir del Análisis de Cuantificación de Recurrencias. En una muestra de 62 sujetos presuntamente sanos con edades entre 9 y 79 años se obtuvo una excelente correlación entre edad y  $\log(\text{DET})$   $r = 0.7981$ , comparable a los mejores valores reportados en la literatura utilizando técnicas más costosas. A partir de esos resultados se propone una vía para estimar los valores normativos para una población presuntamente sana. Se concluye que a partir de tacogramas de dos minutos de duración es posible obtener un buen estimador de la edad cardiovascular. El Análisis de Cuantificación de Recurrencias es una vía apropiada para estimar la edad cardiovascular, y la pérdida del porcentaje de determinismo con la edad posiblemente refleje una mayor contribución de los componentes estocásticos a la regulación del ritmo cardíaco en ancianos.

**Palabras Clave:** variabilidad de la frecuencia cardiaca, análisis de cuantificación de recurrencias, tacograma, determinismo, edad cardiovascular.

---

## ABSTRACT

Various attempts have been reported to estimate the cardiovascular age from different electrophysiological signals. Proposals published are hampered by drawbacks for application in clinical practice. We have proposed to estimate cardiovascular age from two- minutes tachograms using a non-linear measure (logarithm of the percentage of determinism, log (DET)) obtained from Recurrence Quantification Analysis. In a sample of 62 allegedly healthy subjects, 9 to 79 years an excellent correlation between age and log (DET)  $r = 0.7981$  - comparable to the best values reported in the literature using more expensive techniques- was obtained. From these results the way is proposed to estimate the normative values for a presumably healthy population. It is concluded that from two-minutes tachograms it is possible to obtain a good estimate of the cardiovascular age. Recurrence Quantification Analysis of is an appropriate way to estimate cardiovascular age, and reduction in the percentage of determinism with age may reflect a greater contribution of stochastic regulation of heart rate components in the elderly subject.

**Key words:** heart rate variability, recurrence quantification analysis, tachogram, determinism, cardiovascular age.

---

## INTRODUCCIÓN

Con la edad ocurren cambios anatómicos y funcionales en el sistema cardiovascular. Relacionado a ello surge la interrogante de si es posible valorar esos cambios a partir de señales obtenidas mediante registros no invasivos. Así, McVeigh et al obtuvieron, en una muestra de 320 sujetos sanos (con edades entre 20 y 80 años) una correlación de -0.66 entre la edad y la permisividad cardiovascular, obtenida a partir de ondas de presión continuas. Por otra parte, Giuliani et al obtuvieron en una muestra de 112 sujetos sanos (con edades entre 20 y 80 años) una correlación de -0.74 entre la edad y el primer componente principal de una combinación de medidas no lineales de variabilidad de frecuencia cardiaca, obtenidas a partir de pares de tacogramas (serie de intervalos entre los picos de las onda R en un electrocardiograma) de aproximadamente 5 minutos de duración cada uno, y sugirieron que habían encontrado un "calculador de la edad cardiovascular" de un individuo. Es de esperar que la presencia de patología, obesidad, hábitos tóxicos etc. ha de acelerar el envejecimiento cardiovascular, mientras que la práctica de ejercicio, dieta sana etc. ha de contrarrestar los efectos de esos agentes nocivos.

Lamentablemente, existen formidables barreras que limitan la introducción de esos resultados a la práctica clínica. Para la estimación de la permisividad vascular se requiere de un equipo para registro de presión continua, cuyo costo puede ser de varios miles de dólares. Adicionalmente, para ello se requiere de la estimación de la impedancia cardiovascular del individuo, para lo que se requiere de un

---

equipamiento muy costoso<sup>2</sup>. Para la estimación de la "edad cardiovascular" mediante el método propuesto por Giuliani et al, es necesario utilizar una tabla ortostática ("tilt table"), que no siempre está al alcance de los servicios de salud.

En el presente trabajo hemos explorado la posibilidad de obtener un estimador de la edad cardiovascular a partir de registros de tacogramas obtenidos en individuos que permanecían en posición sentada, utilizando un indicador no lineal. Como sugieren nuestros resultados, la posibilidad de evaluar la edad cardiovascular es, en estos momentos, una tarea al alcance de la mayoría de las instalaciones sanitarias, pues para ello se requiere solamente de un registro de ECG o de Oximetría de pulso de 2 minutos de duración.

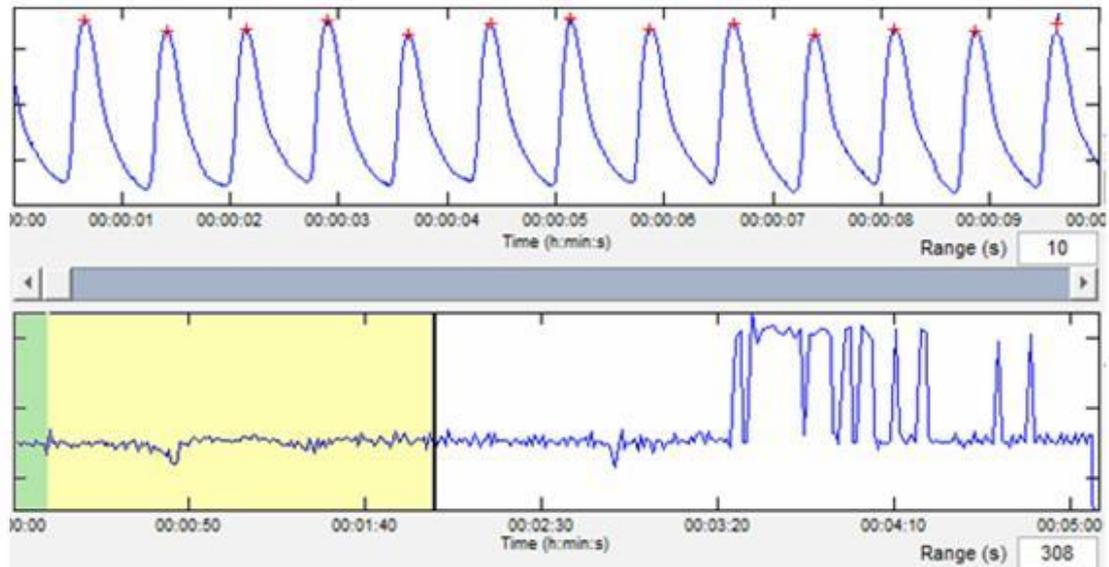
## MÉTODOS

Un total de 62 personas fueron incluidas en el presente estudio, con edades entre 9 y 79 años. La distribución por edades de los sujetos se resumen en la tabla 1.

**Tabla 1.** Datos demográficos de los sujetos incluidos en el presente estudio

Rango etario	Número de sujetos
9 a 20	5
21 a 30	18
31 a 40	11
41 a 50	15
51 a 60	2
61 a 70	5
71 a 79	6
Total	62

Los criterios de inclusión fueron: ausencia clínicamente aparente de enfermedad arterial o anomalía física, obesidad o tratamiento medicamentoso. Se obtuvo la aprobación del comité local de ética así como el consentimiento verbal de cada sujeto. La señal FPG periférica (utilizando el dedo índice de la mano derecha) se registró durante 5 minutos, mediante un oxímetro certificado (Nellcor 395, EE.UU.), con el sujeto sentado en una silla y el brazo posicionado a nivel del corazón con el antebrazo apoyado sobre una mesa. Se tuvo cuidado para que el efecto de distorsiones causadas por movimiento del sujeto fuera el menor posible. También se pidió a los sujetos no someterse a ejercicio extenuante, evitar el consumo de bebidas alcohólicas o estimulantes, y abstenerse de fumar durante 2 horas antes de la grabación. También se aseguró que los sujetos estuvieran relajados y respirando regularmente. Las señales fueron digitalizadas a 1000 Hz y se grabaron como archivos ASCII. Para obtener los tacogramas, la posición de los picos de cada onda fue supervisada mediante una combinación de detección automática y corrección visual (Fig. 1).



**Fig. 1.** Registro típico de una señal FPG (panel superior) y el correspondiente tacograma. Para el análisis se tomaron los 2 primeros minutos, sombreados de verde y amarillo a la izquierda del panel inferior

Posteriormente los tacogramas fueron analizados utilizando una herramienta no lineal denominada Análisis de Cuantificación de Recurrencias (Recurrence Quantification Analysis, RQA) Esta técnica fue introducida por Eckmann et al en 1983 y perfeccionada por Zbilut y Webber<sup>4</sup> que definieron un grupo de descriptores cuantitativos que resultaron de gran utilidad diagnóstico en un amplio rango de campos desde la dinámica molecular hasta la fisiología. Una ventaja metodológica de esta técnica es la posibilidad de cuantificar la conducta de sistemas complejos alejados del equilibrio, algo que parece ser inherente a la variabilidad de la frecuencia cardíaca<sup>5</sup>.

El elementocardinal de RQA consiste en la obtención de una matriz de distancias euclídeas entre épocas del tacograma desplazadas en el eje del tiempo por múltiplos de la unidad básica de retardo (lag). Tras la obtención de la matriz de distancias ésta es transformada de manera que los valores de distancia por debajo de cierto umbral sean definidos como ceros y el resto sean considerados igual a uno. A esa matriz de ceros y unos se le denomina matriz de recurrencias. Los detalles de este procedimiento aparecen descritos en<sup>1</sup>.

A partir de la matriz de recurrencia es posible obtener un grupo de descriptores cuantitativos, destacándose el porcentaje de determinismo (DET) correspondiente al porcentaje de puntos recurrentes que aparecen alineados en secuencia, formando líneas paralelas a la diagonal en la matriz de recurrencia. De esta manera DET se corresponde con la proporción del estado de fase en la cual el sistema reside por una duración mayor de la esperada para una conducta meramente aleatoria. DET es capaz de diferenciar un proceso caótico determinista de uno aleatorio.

Para la obtención de estos cuantificadores, se utilizó el paquete de programas Kubios HRV 2.26, desarrollado por el "Biosignal Analysis and Medical Imaging Group (BSAMIG)" del departamento de Física Aplicada de la Universidad de Finlandia Oriental<sup>7</sup>, y que esta libremente disponible en <http://kubios.uef.fi>

Los valores individuales de REC fueron transformados a escala logarítmica y fueron sometidos a análisis de correlación respecto a la edad de cada sujeto.

Resultados.

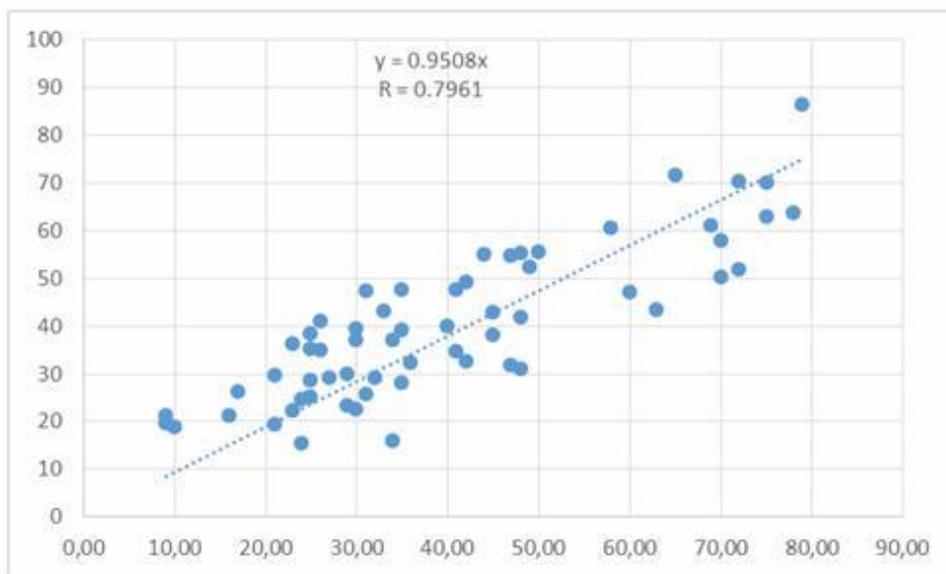
Correlación con la edad.

Para los 62 sujetos considerados, se obtuvo la siguiente línea de regresión respecto a la edad.

$$\text{Edad} = -171.69 \cdot (\log(\text{DET})) + 1727.$$

A partir de esa expresión, se obtuvo la relación entre la edad real y la edad teóricamente esperada tal como se representa en la figura 2.

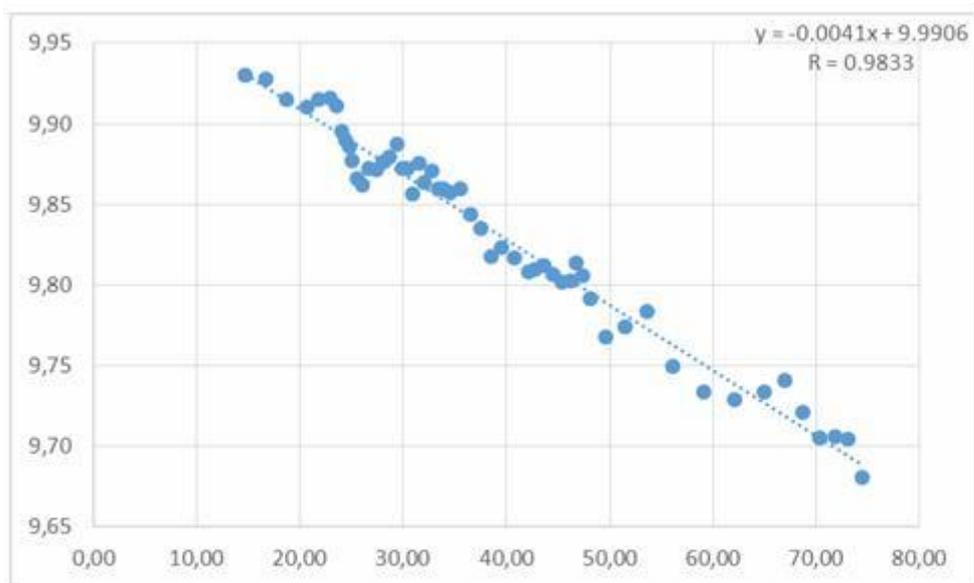
Como puede observarse, la pendiente de la regresión es muy próxima a la unidad (0.9508), mientras que el coeficiente de correlación obtenido es altamente significativo ( $p < 0.00001$ )



**Fig. 2.** Relación entre edad real (eje de las abscisas) y la edad estimada por el método propuesto

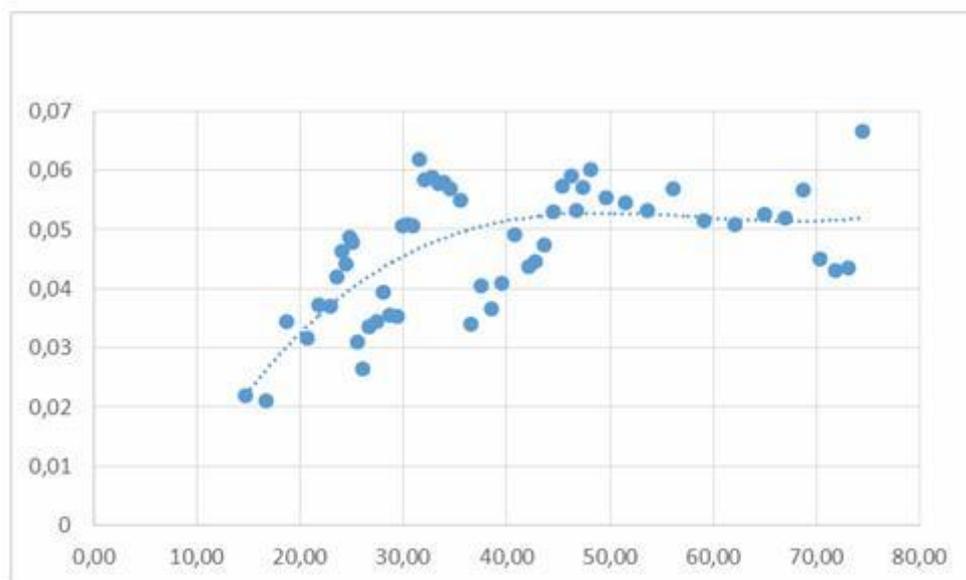
Aproximación a la obtención de ecuaciones normativas

Tras de la agrupación de los datos en rango de edad entre  $\pm 2$  y  $\pm 5$  años se acometió un intento de obtener una " ecuación de desarrollo" respecto a  $\log(\text{DET})$ . El resultado obtenido para el valor medio aparece representado en la figura 3.



**Fig. 3.** Regresión media respecto a la edad para la dependencia de log (DET)

Nuestros resultados sugieren la presencia de heteroscedasticidad, con una desviación estándar que aumenta desde 0.02 a la edad de 14 años hasta 0.05 a la edad de 40 años permaneciendo aproximadamente estable a edades mayores de 40 años (Fig. 4).



**Fig. 4.** Desviación estándar de log (DET) en función de la edad

A partir de los datos de las figuras 3 y 4 hace es posible la obtención de las ecuaciones normativas.

## DISCUSIÓN

Nuestros resultados confirman la utilidad de la señal PPG para estudios de Variabilidad de la frecuencia cardiaca. Al mismo tiempo, por primera vez en la literatura se muestra la posibilidad de obtener un estimador de la edad cardiovascular a partir de registros de 2 minutos de duración.

Las medidas no lineales, a pesar de contar con una sólida fundamentación teórica, en general no han logrado buena aceptación entre los estudiosos de la variabilidad de la frecuencia cardiaca<sup>8</sup>. En nuestra opinión, RQA ofrece una posibilidad única entre los cuantificadores no lineales. Como muestran nuestros resultados, uno de ellos, el porcentaje de determinismo, brinda una correlación con la edad comparable a los mejores índices reportados en la literatura.

Además de la utilidad práctica de estos resultados (2 minutos de registro de ECG procesados con un programa de distribución libre pueden brindar un estimado de la edad cardiovascular), estos también conllevan ciertas implicaciones teóricas.

Algunos procesos, como es el caso del electroencefalograma, exhiben una temprana etapa de maduración. Sin embargo, como se aprecia de la figura 3, se observa un continuo decline del parámetro DET desde las etapas iniciales de la vida.

Según Hernández Cáceres et al, el tacograma se corresponde con un proceso no lineal estocástico con múltiples atractores.<sup>8</sup> En este sentido, al disminuir con la edad el porcentaje de determinismo aumenta la contribución de los factores estocásticos a la regulación del ritmo cardiaco. La irregularidad de edades tempranas se debe a procesos deterministas no lineales mientras la irregularidad a edades avanzadas se debe a factores aleatorios, haciéndose esta regulación menos eficiente con la edad.

## CONCLUSIONES

De esta manera, concluimos que a partir de tacogramas de dos minutos de duración es posible obtener un buen estimador de la edad cardiovascular. El Análisis de Cuantificación de Recurrencias es una medida apropiada para estimar la edad cardiovascular, y la pérdida del porcentaje de determinismo con la edad posiblemente refleje una mayor contribución de los componentes estocásticos a la regulación del ritmo cardiaco.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Giuliani A, Piccirillo G, Marigliano V, Colosimo A. (1998). A nonlinear explanation of aging-induced changes in heartbeat dynamics. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*. 275: H1455-H1461.
2. McVeigh GE, Bratteli CW, Morgan DJ, Alinder CM, Glasser SP, Finkelstein SM, Cohn JN. 1999. Age-related abnormalities in arterial compliance identified by pressure pulse contour analysis aging and arterial compliance. *Hypertension*. 33:1392-1398.
3. Eckmann JP, Kamphorst SO, Ruelle D. (1987). Recurrence plots of dynamical systems. *Europhys. Lett*, 4:973-977.

4. Zbilut JP, Webber CL. (1992). Embeddings and delays as derived from quantification of recurrence plots. *Phys. Lett. A*, 171:199-203.
5. Hernández JL, García L, Enzmann G, García A. (1999). La regulación autonómica del intervalo cardíaco modelada como un sistema no lineal estocástico con múltiples atractores. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*. Vol 30, No 3, 1999.
6. Niskanen J-P, Tarvainen MP, Ranta-aho PO, Karjalainen PA. (2004). Software for advanced HRV analysis. *Comput Meth Programs Biomed*. 76(1):73-81.
7. Tarvainen MP. Kubios HRV version 2.2 User's Guide. University of Eastern Finland. Kuopio, Finland, 2014.
8. Enzmann G, García Lanz A, Hernández JL, García L, González A. Un nuovo indice di complessità per la valutazione della variabilità della frequenza cardiaca in pazienti in trattamento emodialitico. In: Timio M, Witzemann V, Venazi S (Eds). *Cardionefrology* Ed. Bios, Roma, 1999. 283-285.
9. Hernández JL, García L, Enzmann G, García A. (1999). La regulación autonómica del intervalo cardíaco como un sistema no lineal estocástico con múltiples atractores. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 30(3):180-186.

Recibido: 22 de marzo de 2016.

Aprobado: 12 de mayo de 2016.