

Caos en la actividad cardiaca desde los sistemas complejos

Juan Tomás García Cuesta¹, Alejandro Valencia Arias², Valentina Gutiérrez Betancur³

¹Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, jtgarcia@unal.edu.co

²Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, javalencia@unal.edu.co

³Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, vagube23@gmail.com

Since complex systems has been postulated as chaos theory can give fundamental answers to current problems in the study of cardiac activity and how they can analyze this phenomenon more pronounced in healthy individuals than in those with heart problems, for this reason the proposed of this abstract work is make a brief analysis of chaos in cardiac activity. The methodology used was a search of secondary information sources. The conclusion is the chaos analysis of heart activity provides information about physiological and pathological conditions of patients, providing the possibility of a quick diagnostic of problems related to heart activity.

1. ¿POR QUÉ LA ACTIVIDAD CARDIACA ES UN SISTEMA CAÓTICO?

La actividad cardiaca es un sistema no lineal que está en desequilibrio. La actividad cardiaca posee atractores extraños y de punto fijo dependiendo del individuo estudiado, también se ha encontrado que se comporta de manera dinámica presentando en algunos casos aspectos aleatorios y es sensible a las condiciones iniciales del sistema. Estas características no siempre son malas o indeseables. El caos en la actividad cardiaca presenta algunas características como son:

- Dinamismo cardiaco
- Variabilidad irregular en las pulsaciones
- Atractores punto fijo y extraños
- A pesar de las ecuaciones las predicciones son muy complejas
- Aunque la frecuencia cardíaca normal parece regular, haciendo un análisis más profundo se demuestra que presenta gran irregularidad
- El caos evita un comportamiento estrictamente periódico que sería muy perjudicial para el organismo.
- El caos quizás constituya la principal propiedad de los sistemas reguladores a nivel fisiológico
- El organismo funciona en un estado que se ha llamado "desincronización activa".

2. CAOS EN LA ACTIVIDAD CARDIACA

Las ciencias de la salud en décadas pasadas se regían por el famoso principio de la homeostasia donde tácitamente se asume que salud es igual a regularidad en tanto que enfermedad es lo contrario; incluso el papel del médico se entiende en su afán de recobrar la regularidad en el funcionamiento del organismo enfermo (Burgos, 1994).

Sin embargo, numerosas investigaciones han demostrado que el caos intrínsecamente aprovecha la riqueza relacionada con su estructura y por eso, hay beneficios para los sistemas biológicos de la adopción de regímenes caóticos con una amplia gama de conductas posibles. En consecuencia, el sistema de puede rápidamente reaccionar ante una situación nueva, las condiciones cambiantes y su respuesta (Savi, 2005).

Uno de estos sistemas biológicos analizados es el corazón, ya que la actividad cardiaca se ha venido estudiando con las herramientas de la teoría del caos, la cual no hace énfasis en el desorden del sistema, sino precisamente en el orden que exhibe; establece que los sistemas dinámicos no lineales y complejos son inherentemente impredecibles pero al mismo tiempo garantiza que, a menudo, la mejor manera de definir el comportamiento de estos sistemas, es a través de las representaciones gráficas en el espacio-fase. Es así como la aparición de regularidad en el funcionamiento cardiaco es un signo de alteración, mientras que el mantenimiento de un comportamiento caótico es señal de buen funcionamiento (Audelo et al, 2007)

Las series temporales obtenidas a partir de sistemas naturales como el corazón muestran varias características comunes, entre las que se encuentran (Burgos, 1994):

- a. Son muy irregulares y presentan un espectro de Fourier con una rica variedad de amplitudes, exhibiendo lo que se llama un amplio espectro de bandas.
- b. A pesar de que durante su recorrido se mueven dentro de un rango determinado, "ensayan" todas las posibilidades dentro del mismo; por eso se dice de estos sistemas que poseen estabilidad global (por moverse dentro de un rango determinado), con inestabilidad local (por ensayar todas las posibilidades dentro del rango).
- c. Cuando estas series se grafican en un plano fásico, despliegan figuras geométricas complejas que reciben el nombre de atractores extraños o caóticos.

Esto muestra que aunque la frecuencia cardíaca normal parece regular, haciendo un análisis más profundo se demuestra que presenta gran irregularidad; se observan variaciones de segundo a segundo con una pauta caótica. Comparando electrocardiogramas – ECG - de individuos sanos con los obtenidos de pacientes con alteraciones cardíacas se ha observado que los corazones sanos y jóvenes son más caóticos que los enfermos. Estos análisis matemáticos han mostrado la variabilidad del corazón sano, indicando que en condiciones de normalidad la frecuencia cardíaca fluctúa considerablemente aun en ausencia de cualquier estímulo externo fluctuante y que el mecanismo de control del ritmo cardíaco es intrínsecamente caótico y nunca alcanza el estado estacionario sugerido por el concepto de homeostasia. Incluso se ha utilizado la teoría del caos para revertir arritmias. administrando estímulos eléctricos, a tiempos irregulares, a un corazón arritmico es posible revertirlo al ritmo sinusal (Burgos, 1994).

Para demostrar esto se examinó la representación en el espacio-fase de la relación entre la señal original y la primera derivada, localizando el núcleo del atractor y midiendo el ángulo de inclinación, el cual se obtiene trazando las tangentes a cada una de las orbitas que convergen al núcleo, después se traza la bisectriz del ángulo generado por las tangentes y se mide el ángulo de la línea base hasta la bisectriz. Por otro lado, al reconstruir el sistema, en el espacio-fase, a partir de graficar la relación entre la señal original y la misma señal original con un retardo n establecido ($n = 1, 2$ y 4), se encontró que la representación del atractor cambia en función del retardo. Sin embargo, la representación en el espacio-fase de la relación entre la señal original y la primera derivada, muestra que el atractor obtenido solo se ve afectado por el comportamiento dinámico del ritmo cardiaco; de acuerdo a esto, al analizar el gráfico se observó que existe una asociación significativa entre el ritmo cardiaco y el atractor extraño. Además, el electrocardiograma presenta un comportamiento cuasi-periódico, aparentando ciclos límite sobrepuestos con una zona densa a la que se denominó núcleo del atractor (Audelo et al, 2007).

3. CONCLUSIONES

La frecuencia cardiaca de los individuos sanos tiende a un atractor extraño, mientras que la frecuencia cardiaca de un individuo enfermo tiende a un atractor de punto fijo.

El caos no siempre es indeseable en un sistema, debido a que un comportamiento estrictamente periódico es perjudicial para muchos organismos en términos fisiológicos

La frecuencia cardiaca se comporta de forma caótica, su ritmo es siempre irregular, aún en estado de reposo.

El ciclo cardiaco contradice el principio de homeostasia, regidor de toda la conceptualización fisiológica antigua donde se asume que salud es igual a regularidad en tanto que enfermedad es lo contrario

El estudio de la actividad cardiaca tiene la facultad de proveer información sobre las condiciones fisiológicas y patológicas de los pacientes, esto brinda la posibilidad de diagnosticar a tiempo problemas y por tanto optimizar la toma de decisiones.

La frecuencia cardiaca se comporta de forma caótica, su ritmo es siempre irregular, aún en estado de reposo, esto vuelve obsoleto el paradigma de salud clásico.

Esta metodología de análisis de la actividad cardiaca aún se encuentra en desarrollo, por ende la medicina tradicional no la ha adoptado como procedimiento fundamental para el diagnóstico de sus pacientes.

REFERENCIAS

- Audelo, E., Beristain, F., & Vázquez, C. (2007). Nuevos Patrones de Reconocimiento Visual en el Ciclo Cardíaco. *Información tecnológica*, 18(6). doi:10.4067/S0718-07642007000600007
- Burgos, Luis. (1994) Importancia del caos determinista en medicina. En: *Iatreianol* 7/No. 2. Disponible en: <http://www.iatreia.udea.edu.co/index.php/iatreia/article/viewFile/537/456>
- Savi, M. A. (2005). Chaos and order in biomedical rhythms. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 27(2). doi:10.1590/S1678-58782005000200008