

## 27 Análisis del electrocardiograma de la ballena jorobada con técnicas de procesamiento de señales y redes neuronales

Diego Luis Alvarez<sup>1</sup>, Jorge Farbiarz<sup>1</sup>, Yolanda Plazas<sup>2</sup>.

Se analizaron 199 complejos del electrocardiograma (ECG) de ballena jorobada, con técnicas en el dominio del tiempo, de la frecuencia, identificación de sistemas. Se clasificaron con redes neuronales y análisis de cluster. Se obtuvo promedio típico del ECG de la ballena, se comprobó la existencia de la onda P, se dio una nueva explicación a la bradicardia de estos animales y se obtuvo un modelo matemático para simular el ECG.

**Metodología:** Los complejos del ECG fueron obtenidos por el grupo S.C.V.S. Se obtuvo la señal promedio de los 199 complejos. Se realizó una correlación cruzada, entre el promedio y los 199 complejos para identificar y promediar los complejos más típicos. Se realizaron análisis espectrales de la señal promediada, de cada complejo y de segmentos. Se hizo un diezmado de la señal y una compresión con transformada discreta coseno. Se clasificaron las señales con redes neuronales tipo Kohonen, y análisis de cluster. Se hizo identificación de sistemas con modelos paramétricos tipo ARX, como entrada se tuvo un pulso rectangular de 300 milisegundos y como salida, la señal promediada. Se hallaron los polos, los ceros y la respuesta en frecuencia y al escalón del sistema. Se realizó una prueba de chi cuadrado para establecer la asociación entre la clasificación realizada por las redes neuronales y el análisis de cluster y un análisis de la varianza, para establecer la significancia de las diferencias encontradas entre los grupos.

**Resultados:** La frecuencia cardíaca promedio fue de 7 + 3 latidos por minuto. Se observaron ondas similares a la P del ECG humano, que no guardan relación temporal con los complejos ventriculares. Se obtuvo el electrocardiograma promedio con los 199 complejos. Se identificaron los componentes espectrales de los complejos y sus segmentos. Se encontraron dos categorías de complejo electrocardiográfico. Hubo asociación estadística entre las clasificaciones realizadas por la red neuronal artificial y el análisis de cluster ( $p < 0.05$ ). Se encontró onda P en los promedios, y en las categorías de complejos mencionadas.

**Discusión:** Los análisis previos son limitados por basarse en la inspección visual. Algunos autores no han identificado ondas P. Otros proponen una fibrilación auricular. Se encontró, una onda correspondiente a la P del ECG humano que no se había demostrado previamente. Se descarta por lo tanto un ritmo nodal o de un bloqueo A-V completo. En los estudios previos no se había demostrado contundentemente la presencia de la onda P. El complejo CDE, corresponde al QRS humano, es muy pequeño con respecto al tamaño del corazón, posiblemente porque el grosor ventricular es muy pequeño para el tamaño. La red de Purkinje es mucho más densa que la de otros mamíferos. El segmento EF (Figura 1), correspondiente al segmento ST del ECG humano. El complejo FG (Figura 1), corresponde a la onda T del ECG humano. El intervalo CG (QT del ECG humano), es solo 4 veces mayor que el del humano a pesar de tener un corazón 400 veces más grande.

Para dicho intervalo CG, se espera una frecuencia cardíaca máxima de 34 latidos por minuto, por lo cual se postula que la bradicardia se debe, a una restricción por los tiempos de despolarización y repolarización ventricular.

El modelo matemático fue bueno para simular los componentes ventriculares, pero deficiente para auriculares.



Figura 1. Duración y amplitud de las ondas del electrocardiograma

<sup>1</sup>Profesor, Facultades de Medicina U de A y UPB.

<sup>2</sup>Bióloga, Grupo Seguimiento de Corazón Vía Satélite, Santafé de Bogotá.

## 28 Modulación del sistema nervioso autónomo sobre la variabilidad de la frecuencia respiratoria. Una visión desde la teoría del caos y los fractales

Diego Luis Alvarez<sup>1</sup>, Jorge Farbiarz<sup>1</sup>, Víctor Bermúdez<sup>2</sup>, Felipe Campo<sup>2</sup>, José Alberto Castro<sup>2</sup>, Carlos Ospina<sup>2</sup>, Jorge Sánchez<sup>2</sup>.

Se realizó un estudio experimental para evaluar modulación autónoma de la frecuencia respiratoria utilizando técnicas de caos y fractales. A sujetos sanos, se les registró la frecuencia respiratoria en condiciones basales, ante estímulos simpáticos y parasimpáticos. La variabilidad fue menor con la estimulación autónoma que en el estado basal. No hubo diferencias entre estímulos simpáticos y parasimpáticos evaluados con análisis espectral, dimensión fractal y dimensión de correlación.

**Metodología:** Se evaluaron 27 sujetos sanos de ambos sexos con edades entre 18 y 25 años. La señal fue obtenida con un neumógrafo, registrada en un fisiógrafo Narco Biosystems® y digitalizada. Se realizaron 3 registros de la respiración (basal, con estímulo simpático y con estímulo parasimpático), cada uno de 2.5 minutos de duración y con 5 minutos de reposo entre ellos. El estímulo simpático se hizo colocando hielo en la frente, el parasimpático se hizo con presión suave sobre los globos oculares. A cada registro se le realizó un análisis espectral, se le calculó la dimensión fractal, se construyó el atractor con el método de espacio de fase y se calculó la dimensión de correlación con el algoritmo de Grasberg y Procaccia. Se obtuvo los promedios y desviaciones standard de las dimensiones de los atractores en las tres situaciones anotadas. Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó un diseño de ANOVA (Análisis de la Varianza) con mediciones repetidas para tres niveles (basal, simpático y vagal).

**Resultados:** Se observó una disminución de la variabilidad de la frecuencia respiratoria con respecto del estado basal del 10% a 8.5% ante estímulos simpáticos ( $P < 0.01$ ) y 8.3% ( $P < 0.003$ ) ante estímulos parasimpáticos. No hubo diferencias significativas con entre estímulos simpáticos y parasimpáticos. ( $P = 0.29$ ). El análisis espectral mostró una disminución significativa de la potencia total entre el estado basal y estímulos simpáticos o parasimpáticos ( $p < 0.001$ ). No hubo diferencias espectrales entre estímulos simpáticos y parasimpáticos. La dimensión fractal disminuyó de  $1.26 + 0.18$  en reposo, a  $1.22 + 0.1$  ante estímulo simpático ( $p < 0.0001$ ) y  $1.22 + 0.09$  ( $p < 0.0001$ ) ante estímulo parasimpático. Los atractores mostraron la disminución de la complejidad ante estímulos autónomos con respecto al estado basal.

El análisis de la varianza (ANOVA), para la dimensión de correlación, no mostró diferencias significativas entre los estados neurovegetativos, basal  $2.49 + 0.42$ , parasimpático  $2.56 + 0.45$  y simpático  $2.43 + 0.38$ .

**Discusión:** Existen reportes de una disminución en la variabilidad de la frecuencia cardíaca predispone a la presentación de arritmias cardíacas, muerte súbita e infarto agudo del miocardio. Así mismo, hay disminución de la complejidad del sistema respiratorio en la frecuencia cuando se presentan patologías. El Sistema nervioso simpático disminuye la complejidad y el sistema nervioso parasimpático la aumenta a nivel cardiovascular.

En el presente estudio se encontró que los estímulos del sistema nervioso autónomo sobre la frecuencia respiratoria, disminuyen la variabilidad con respecto al estado basal, independientemente de si el estímulo es simpático o parasimpático.

Lo anterior se evidencia por una disminución del cociente de variación, de la dimensión fractal y de los componentes espectrales: similar a lo encontrado en el sistema cardiovascular para estímulos simpáticos, pero contrario a la respuesta a estímulos parasimpáticos.

Estos hallazgos ponen al descubierto, la compleja interacción entre el sistema nervioso autónomo y los centros de control respiratorio, contrario a lo que clásicamente se ha dicho.

En conclusión un estímulo autónomo sea simpático o parasimpático organiza y regula el patrón respiratorio como respuesta al estrés.



Figura 1. Atractores acumulados de múltiples desfases. En estado basal (izquierda), con estímulo parasimpático (centro) y con estímulo simpático (derecha). Se observa la disminución de la complejidad frente a ambos estímulos autónomos. No hay diferencias de complejidad entre el estímulo simpático y el parasimpático.

<sup>1</sup>Profesor, Facultades de Medicina U de A y UPB.

<sup>2</sup>Estudiante de medicina, Universidad Pontificia Bolivariana.