

Relación entre el espectro y la regularidad en la señal de fibrilación ventricular modificada por el ejercicio físico

J Guerrero¹, A. Serrano¹, M. Bataller¹, A. Rosado¹, J Chorro², L Such³, A Alberola³.

¹ Grupo de Procesado Digital de Señal. Universidad de Valencia. Spain. juan.guerrero@uv.es

² Servicio de Cardiología. Hospital Clínico Universitario de Valencia y Departamento de Medicina de la Universidad de Valencia. Spain.

³ Departamento de Fisiología. Universidad de Valencia. Spain

Resumen

El presente trabajo estudia las modificaciones intrínsecas que el ejercicio físico produce en la respuesta cardíaca durante la FV. Se han calculado dos parámetros relacionados con el espectro de la señal (FD: frecuencia dominante, y EN: energía normalizada), y otro relacionado con la regularidad de las OAL (IR: índice de regularidad). Se ha realizado un análisis de correlación entre los tres parámetros para valorar su grado de complementariedad.

Se consideraron dos grupos de conejos: control (G1: sin entrenamiento, N=10) y entrenados (G2, N=9). Se utilizó un electrodo matricial de 240 canales localizado en ventrículo izquierdo de corazón aislado de conejo perfundido mediante un sistema de Langendorff. La FV se indujo por estimulación a frecuencias crecientes.

Los resultados muestran que el grupo entrenado presenta una mayor regularidad de la señal (IR: G1: 0,757+-0,091; G2: 0,845+-0,084; $p<0.001$), así como menor FD (G1: 18.23±2.96Hz; G2: 14.13+-1.73Hz; $p<0.001$) y dispersión espectral (EN: G1: 0,138+-0,105; G2: 0,293+-0,176; $p<0.001$). El análisis de las relaciones entre parámetros muestra correlaciones significativas entre los parámetros para todos los casos excepto para IR y FD en G2, por lo que estos parámetros proporcionan información complementaria, ya que analizan aspectos diferentes de la señal como la morfología de las ondas de activación y su frecuencia. La existencia de correlación entre ambas para G1 puede ser debida a otras causas, tales como las modificaciones en ambos factores inducidas por la presencia de reentradas o colisiones entre frentes de activación.

Como conclusión, los resultados obtenidos sugieren que el entrenamiento físico produce una respuesta cardíaca más estable ante FV, debida a modificaciones intrínsecas en las características electrofisiológicas cardíacas.

1. Introducción

El ejercicio físico modifica el equilibrio simpático-vagal del sistema nervioso vegetativo, produciendo un incremento de la actividad parasimpática que se manifiesta en una disminución de la frecuencia cardíaca [1,2]. Diversos estudios han demostrado una mayor facilidad para la aparición de muerte súbita cuando disminuye el tono parasimpático [3], así como un efecto antiarrítmico al aumentar la actividad vagal [4].

Sin embargo, no se dispone de resultados concluyentes sobre los efectos intrínsecos de la realización crónica de ejercicio físico. Se ha observado un incremento de la

duración del potencial de acción de los cardiocitos ventriculares [5], pero las modificaciones en otros parámetros de excitabilidad miocárdica tales como la refractariedad, correlacionada con la DF espectral [6], necesitan ser estudiados.

Para analizar los efectos intrínsecos que el ejercicio físico produce en la respuesta cardíaca durante la fibrilación ventricular (FV), se obtuvieron dos grupos de registros correspondientes a animales sin entrenamiento (G1) y con entrenamiento físico (G2). Se han utilizado corazones aislados, lo que elimina la influencia del sistema nervioso vegetativo. Además, se ha mantenido la perfusión miocárdica durante la arritmia. Esto permite estudiar la FV en condiciones estables sin la interferencia de otras variables como el deterioro metabólico, que introducirían modificaciones temporales y regionales en los patrones de activación durante la FV.

El procesado se ha realizado en dos frentes: cálculo espectral y análisis de la regularidad de la señal de FV. El índice de regularidad (IR), propuesto por Faes y cols. para el caso de fibrilación auricular (FA) [7][8], cuantifica la regularidad de la señal analizando la semejanza de las ondas de activación local (OAL) a lo largo de la ventana temporal considerada. Debido a que el análisis de regularidad compara únicamente la morfología de las OAL, otra información de interés como el periodo de activación se pierde [9]. Por tanto, este análisis se realiza conjuntamente con el análisis espectral.

El objetivo del presente trabajo es estudiar el tipo de información obtenida de los parámetros espectrales y de regularidad, así como la relación entre ellos para valorar el grado de complementariedad de dichos parámetros.

2. Metodología

Los registros de mapeado de FV utilizados han sido adquiridos en los laboratorios de Electrofisiología Cardíaca de la Universidad de Valencia mediante la utilización de un sistema de mapeado comercial (MAPTECH, Waalre, the Netherlands) de 256 canales. Los registros se han adquirido utilizando un electrodo matricial de 240 electrodos localizado en ventrículo izquierdo de corazón aislado de conejo, perfundido mediante un sistema de Langendorff.

Se analizaron dos grupos: control (G1: sin entrenamiento, N=10) y entrenados (G2, N=9). La duración de cada registro es de 5.5 minutos, con frecuencia de muestreo de 1kHz. La FV se indujo por estimulación a frecuencias crecientes.

En todos los casos, se realiza un preprocesado para analizar la calidad del registro, descartando aquellos canales con baja amplitud o presencia de ruido. Para analizar la evolución de la fibrilación, los registros se procesaron en segmentos consecutivos de 4 segundos (4000 muestras). Para cada segmento y canal se obtiene el espectro de Welch, utilizando ventana de Hanning y 2 tramos no solapados (resolución: 0.5Hz). El análisis en el dominio de la frecuencia incluye la obtención de la frecuencia dominante del espectro (FD) y la energía normalizada (EN), definida como la energía espectral en

una ventana centrada en $FD \pm 1Hz$, y normalizada por la energía espectral en la banda de interés (5-35Hz).

El análisis de regularidad de la FV se realizó calculando, para cada segmento y canal, el índice de regularidad (IR). El algoritmo utilizado es una modificación del original [7][8] para adaptarlo a las características electrofisiológicas del modelo cardíaco utilizado [10].

La figura 1 muestra un ejemplo de cálculo del IR para dos canales de VF, obtenidos de dos registros diferentes. Las figuras de la derecha muestran las OAL detectadas superpuestas para mostrar las diferencias morfológicas. En el caso A (G1), se puede observar una elevada variabilidad en la morfología de las OAL, lo que se refleja en un valor bajo del RI. En B, las OAL muestran una mayor regularidad, y el valor del RI es alto.

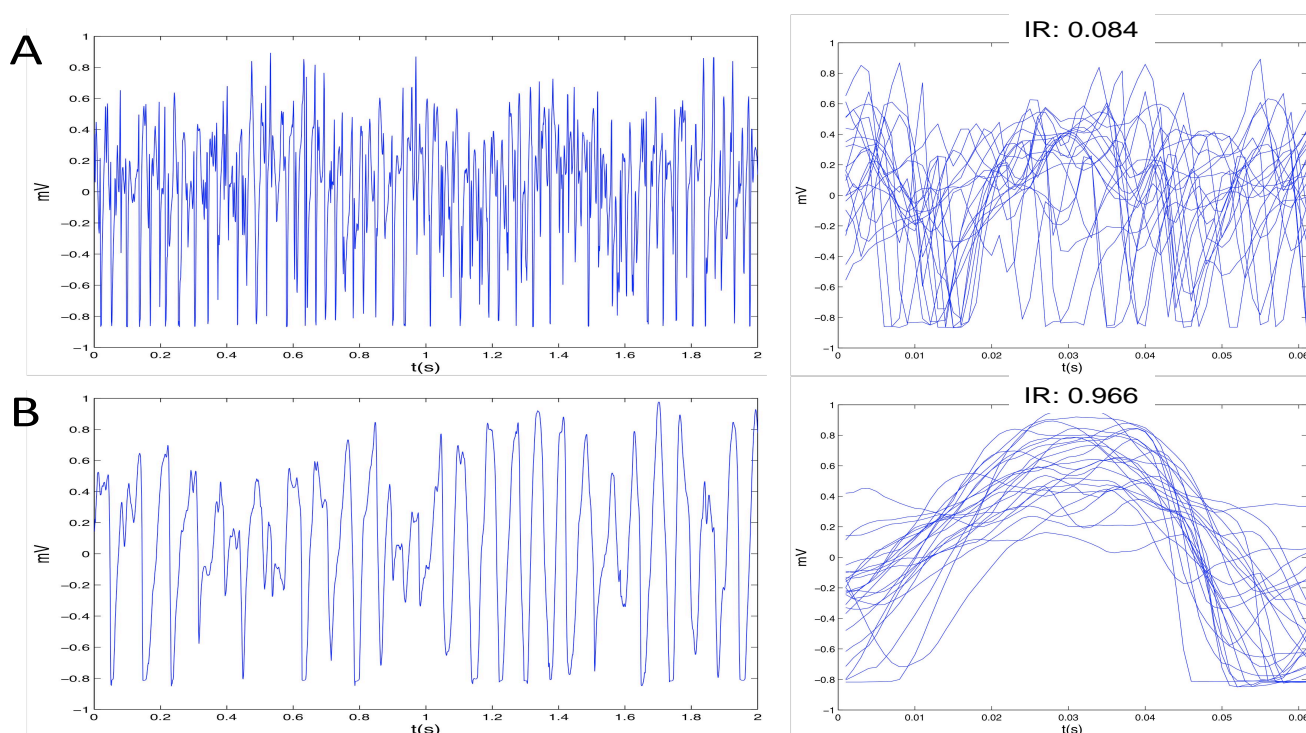


Figura 1. Ejemplo de valores obtenidos para IR. Los gráficos de la izquierda muestran la señal de FV, y los de la derecha una superposición de las OAL detectadas. IR es mayor cuando la forma de las OAL es más regular (B).

Para cada parámetro se han analizado las diferencias entre grupos mediante el test de la t de Student para dos muestras independientes, en función de la homogeneidad de las varianzas (determinada mediante la prueba de Levene). Para analizar las correlaciones entre variables se ha calculado la rho de Spearman.

3. Resultados

La tabla 1 muestra los valores promedio de los parámetros para ambos grupos de registros. Los tres parámetros presentan diferencias significativas entre los grupos de entrenados (G2) y no entrenados (G1). En el

caso de G2 la FD es menor, de forma similar a lo que ocurre en el caso en que existe una influencia del SNC. EN es mayor, lo que implica una menor dispersión espectral. Por último, IR es también mayor, indicando una señal más regular. Estos resultados apuntan a que el entrenamiento físico puede producir efectos intrínsecos en las características electrofisiológicas de las células cardíacas.

Los diagramas de dispersión de los tres parámetros se muestran en la figura 2. Se observa que los valores más altos de IR suelen estar asociados a FD menores. Aunque la FD está relacionada con la frecuencia de activación, y el IR sólo analiza la forma de la OAL, las zonas de reentrada o colisiones entre frentes de activación pueden

producir FD mayores a la vez que una fusión de OAL que produzcan cambios en la morfología de la onda y, por tanto, un IR más bajo. No obstante, este supuesto requiere un estudio más detallado utilizando también mapas de activación que introduzcan información de su localización espacial.

GRUPO	FD	EN	IR
1	18.23±2.96	0.138±0.105	0.757±0.091
2	14.13±1.73	0.293±0.176	0.845±0.084
p	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Tabla 1. Resultados de los parámetros (media y desviación estándar) para los dos grupos. p: significación estadística de la comparación entre grupos.

En G2 se observa una concentración de los valores de EN para IR altos y para FD bajos. En G1, por el

contrario, EN presenta valores distribuidos en un rango más amplio de FD e IR. Además, se observa para ambos grupos una doble distribución de los valores de EN. Los menores ($EN < 0.2$) corresponden fundamentalmente a algunos registros concretos de ambos grupos, que son también los responsables de los valores bajos de IR en G2 ($IR < 0.75$), y posiblemente sería necesario aumentar el tamaño de la muestra para determinar si está relacionado con las características electrofisiológicas de estos casos.

La tabla 2 muestra los valores de correlación y su significación estadística para los tres parámetros en función del grupo de registros. El único caso en que no se da una correlación significativa es entre IR y FD para G2. Esto es lógico puesto que IR sólo analiza la morfología de las OAL, mientras que FD está relacionada principalmente con la frecuencia de activación. La significación que aparece entre ambos valores para G1 puede explicarse por la presencia de mayores valores de FD, y por tanto se daría el efecto comentado anteriormente.

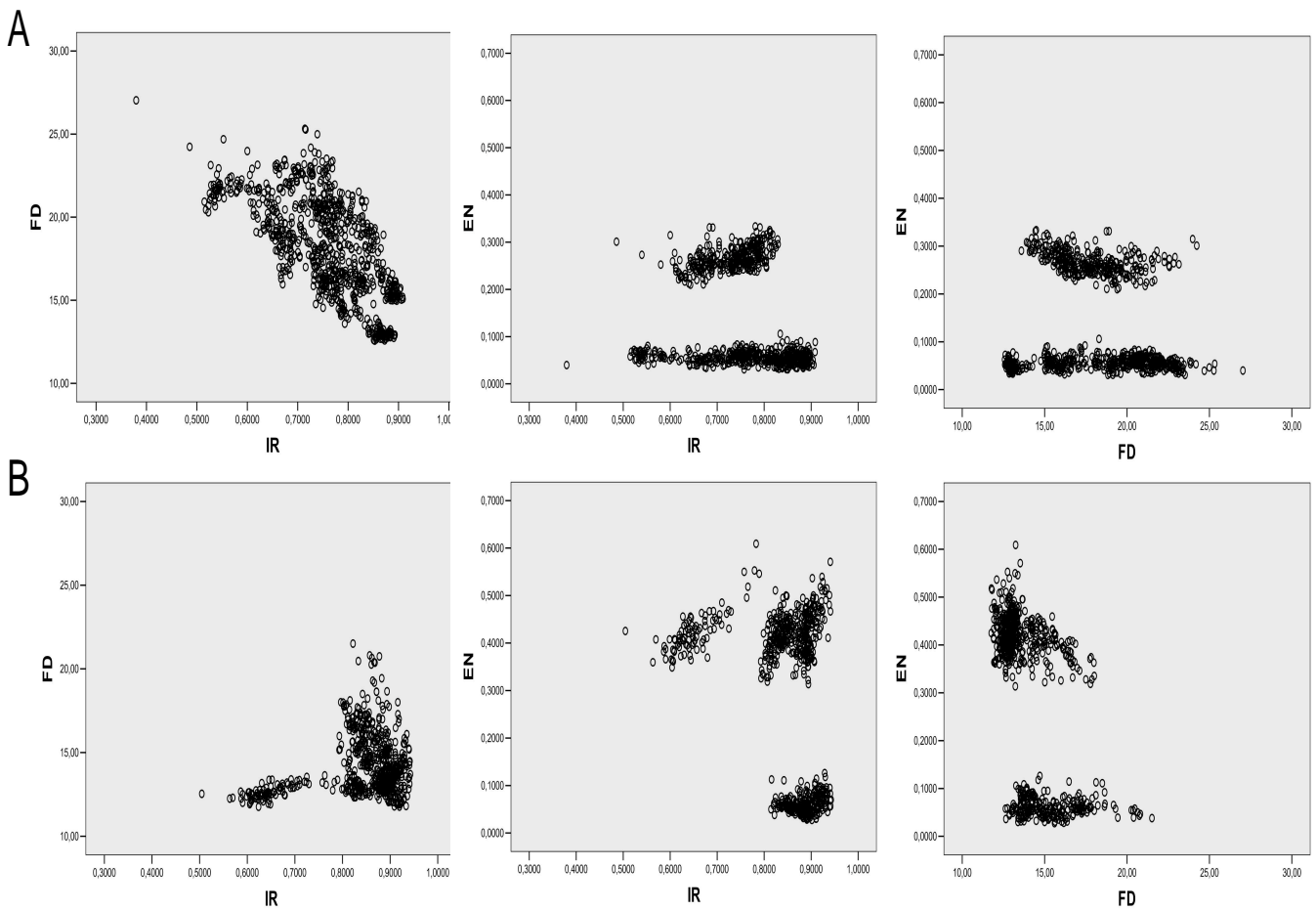


Figura 2. Relación entre los parámetros IR, FD y EN para los dos grupos (A: G1, B: G2).

	FD		EN	
	G1	G2	G1	G2
IR	G1	-0,694 **	-0,268 **	
	G2		0,063	-,206 **
EN	G1	-0,154 **		
	G2		-,566 **	

Tabla 2. Valores de correlación entre los parámetros para los dos grupos. **: $p < 0.01$.

4. Conclusiones

El presente trabajo estudia las modificaciones intrínsecas que el ejercicio físico produce en la respuesta cardíaca durante la FV. Se han obtenido dos parámetros relacionados con el espectro de la señal (FD y EN), y otro relacionado con la regularidad de las OAL (IR), sobre dos grupos de registros (sujetos entrenados y no entrenados). Se ha analizado la relación existente entre los tres parámetros para valorar el grado de complementariedad entre ellos.

Los resultados muestran que el grupo entrenado presenta una mayor regularidad de la señal, así como menor FD y dispersión espectral. Esto puede interpretarse como una respuesta cardíaca más estable ante FV, debida a modificaciones intrínsecas en las características electrofisiológicas cardíacas inducidas por el entrenamiento físico.

El análisis de las relaciones entre parámetros muestra que IR y FD proporcionan información complementaria en el caso de G2. En G1 se observa una correlación posiblemente debida a otras causas, tales como las modificaciones en la frecuencia de activación y en la morfología inducidas por la presencia de reentradas o colisiones entre frentes de activación. No obstante, este aspecto necesita de un estudio posterior que también incluya información de la localización espacial de la activación. También sería necesario incrementar la muestra estudiada para determinar el origen de la doble distribución encontrada en los valores de EN.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido soportado por el proyecto DEP2007-73234-C03-02 del Plan Nacional de I+D+I, Acción Estratégica: "Deporte y Actividad Física".

Referencias

- [1] Blomqvist CG and Saltin B. Cardiovascular adaptations to physical exercise. *Annu Rev Physiol* vol 45, 1983, pp 169-189.
- [2] Scheuer, J., Tipton, C.M. Cardiovascular adaptations to physical training. *Ann. Rev. Physiol.*, vol 39, 1997, pp 221-251.
- [3] Billman GE. The effect of carbachol and cyclic GMP on susceptibility to VF. *FASEB J* vol 4, 1990, pp 1668-1673.
- [4] De Ferrari GM, Vanoli E, Stramba-Badiale M, Hull SS Jr, Foreman RD, and Schwartz PJ. Vagal reflexes an survival during acute myocardial ischemia in conscious dogs with healed myocardial infarction. *Am J Physiol* ,vol 261, 1991, pp H63-H69.
- [5] Natali AJ, Wilson LA, Peckham M, Turner DL, Harrison SM, and White E. Different regional effects of voluntary exercise on the mechanical and electrical properties of rat ventricular myocytes. *J. Physiology.* vol 541, 2002, pp 863-875.
- [6] Chorro FJ, Cánoves J, Guerrero J, Mainar L, Sanchis J, Such L, López-Merino V. Alteration of ventricular fibrillation by flecainide, verapamil and sotalol. An experimental study. *Circulation*, vol 101, 2000, pp 1606-1615.
- [7] Faes L, Nollo G, Antolini R, Gaita F, Ravelli F. A method for quantifying atrial fibrillation organization based on wave morphology similarity. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 49, 2002, pp. 1504–1513. (ISSN: 0018-9294)
- [8] Faes L, Ravelli F. A morphology-based approach to the evaluation of atrial fibrillation organization. *IEEE Engineering In Medicine And Biology Magazine*, 2007, pp 59-67. (ISSN: 0739-5175)
- [9] Masse S, Downar E, Chauhan V, Sevapsidis E, Nanthakumar K. Wave similarity of human ventricular fibrillation from bipolar electrograms. *Europace*, vol 9, 2007, pp 10–19.
- [10] Guerrero J, Bataller M, Serrano A, Chorro J, Alberola A, Such L. Análisis de regularidad en fibrilación ventricular: aplicación a registros de mapeado cardíaco. *Actas del XXVI Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica CASEIB'08*, Valladolid, 2008, pp 96-99.