

Cambios en los loops de las ondas P del vectocardiograma tras el aislamiento de las venas pulmonares

N. Ortigosa¹, O. Cano², F. Sandberg³

¹ I.U. Matemática Pura y Aplicada, Universitat Politècnica de València, nuorar@upvnet.upv.es

² Servicio de Cardiología, Hospital Universitari i Politècnic La Fe, Valencia cano_osc@gva.es

³ Department of Biomedical Engineering, Lund University, Suecia

Resumen

La fibrilación auricular es la arritmia más frecuente en la práctica clínica. Además de los tratamientos antiarrítmicos, el aislamiento de las venas pulmonares mediante ablación por catéter es uno de los tratamientos utilizados acorde a las guías clínicas para ayudar a mantener el ritmo sinusal de forma indefinida en el paciente.

El propósito de este estudio es analizar cómo dicho procedimiento afecta a los patrones de conducción eléctrica en las aurículas, y cómo estos se ven modificados en los registros electrocardiográficos registrados al paciente. Para ello, se ha comparado la morfología de las ondas P de los loops extraídos de los vectocardiogramas calculados a partir del electrocardiograma de superficie, antes y después del procedimiento en pacientes con fibrilación auricular paroxística. Estos pacientes tienen episodios autolimitados, permaneciendo gran parte del tiempo en ritmo sinusal y sin un alto grado de evolución de la arritmia. El primer y segundo autovalor de los loops, así como una medida de la redondez de los mismos señalaron cambios significativos tras el procedimiento, mostrando que el aislamiento de las venas pulmonares induce cambios morfológicos en los loops de las ondas P.

1. Introducción

La fibrilación auricular (FA) es la arritmia más frecuente en la práctica clínica diaria y, además, su prevalencia va en aumento. Los estudios apuntan a que en la Unión Europea habrá de 14 a 17 millones de pacientes con FA en el año 2030 [1]. Esta arritmia se caracteriza por un ritmo cardiaco rápido e irregular, donde las aurículas laten de forma desincronizada respecto de los ventrículos [2].

Los tratamientos de la FA se basan en un control del ritmo y de la frecuencia cardiaca. Incluyen medicación antiarrítmica, pero también técnicas de ablación por catéter para aislar las venas pulmonares, sobre las que se ha demostrado que se origina la recirculación eléctrica que es origen de la arritmia [3].

Las tasas de éxito del aislamiento de las venas pulmonares alcanzan el 80% para los pacientes con FA paroxística (es decir, aquellos en los que los episodios de arritmia son recurrentes y autolimitados, con duración inferior a 7 días). Sin embargo, se ha visto que el éxito de la intervención disminuye a medida que pasa el tiempo durante las sucesivas revisiones [4].

De este modo, el objetivo del aislamiento de las venas pulmonares en pacientes con FA es el restablecimiento del

ritmo sinusal en el paciente, así como su mantenimiento a largo plazo [5], siendo de interés estudiar qué cambios produce dicho procedimiento para que resulte duradero o no.

Estudios previos han analizado cómo el aislamiento de las venas pulmonares se ve reflejado en cambios en la señal electrocardiográfica, fundamentalmente afectando a la duración de las ondas P [6-7], así como a su amplitud y dispersión de la duración [8-10].

En el presente trabajo proponemos un estudio del vectocardiograma (VCG) para analizar cómo el aislamiento de las venas pulmonares afecta al patrón de conducción eléctrico en las aurículas. Para ello, a partir del electrocardiograma de superficie de pacientes con fibrilación auricular paroxística (con tramos en ritmo sinusal), extraemos el vectocardiograma y, tras delinear las ondas P, comparamos los loops asociados antes y después del procedimiento.

2. Materiales

La cohorte de este estudio está conformada por 10 pacientes que padecían fibrilación auricular paroxística, y que se sometieron al aislamiento de las venas pulmonares para tratársela en la Unidad de Arritmias del Hospital Universitari i Politècnic La Fe de Valencia.

El electrocardiograma de superficie de 12 derivaciones fue registrado antes y media hora después del procedimiento, almacenando registros de 60 segundos de duración. Dichos registros tenían las ondas P visibles, ya que los pacientes estaban en ritmo sinusal al ser intervenidos. De esta manera, las ondas P del electrocardiograma eran visibles en los registros adquiridos.

3. Métodos

3.1. Preprocesado de la señal

Los registros electrocardiográficos fueron preprocesados para eliminar el ruido y artefactos presentes en ellos. Para eliminar el ruido de red, un filtro Notch a 50Hz fue aplicado en primer lugar. Después, el ruido de base fue suprimido aplicando interpolación cúbica por splines, acorde al método presentado en el trabajo [11].

A continuación, el vectocardiograma fue calculado mediante la utilización de la matriz de Kors [12], obteniéndose así las derivaciones ortogonales de Frank.

Tanto el inicio como el final de las ondas P fueron automáticamente delineadas, siendo posteriormente revisadas las marcas de forma manual. Para el estudio, únicamente se han considerado las ondas P que tienen una calidad de señal suficiente. Así, para ser incluidas en el estudio, las ondas P deben tener una correlación cruzada superior a 0.9 con el promedio de las ondas P. Las ondas P que no cumplan este requisito serán excluidas del estudio.

3.2. Análisis del vectocardiograma

En primer lugar se construyeron los loops asociados a las ondas P del vectocardiograma. Para cada loop, se calcularon los tres autovectores de los mismos mediante descomposición en valores singulares. Cada autovector está asociado a un autovalor, que representa la energía correspondiente en dicha dimensión.

Dichos autovalores se denotan por λ_i , donde $i = 1, 2, 3$, y los autovalores se denotan en orden descendente ($\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$). De este modo, el primer autovalor (λ_1) representa la magnitud del loop en la dirección de la máxima variación. En la Figura 1 se ha incluido un ejemplo de dos loops de ondas P (antes y después del aislamiento de las venas pulmonares), así como de los respectivos primeros autovectores.

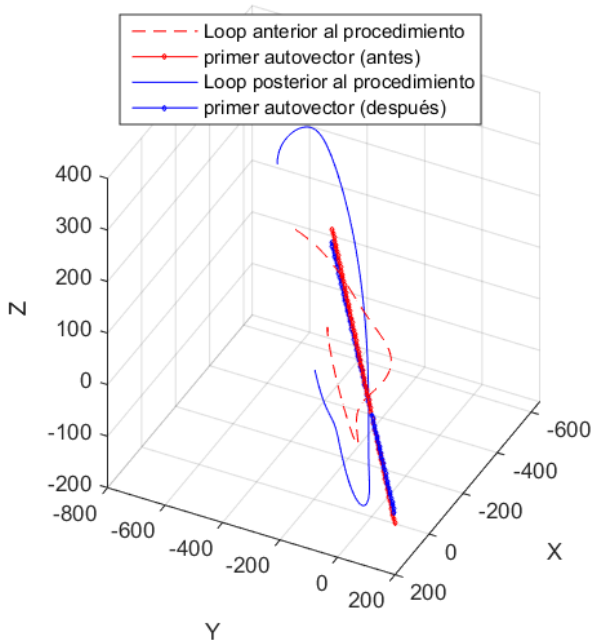


Figura 1. Ejemplos de dos loops correspondientes a las ondas P de un paciente antes (en rojo) y después (en azul) del aislamiento de las venas pulmonares. Se incluyen también los respectivos primeros autovectores.

En este trabajo se han analizado el primer y segundo autovalor de los loops de las ondas P (λ_1, λ_2), así como la relación del segundo autovalor frente al primero ($\rho = \lambda_2/\lambda_1$). Esta ratio describe la morfología del loop y cómo

se distribuye el mismo a lo largo de sus dos diagonales principales, aportando una medida de cuán redondo es.

4. Resultados

Al eliminar las ondas P cuya calidad de señal no era suficientemente buena (aquellas cuya correlación cruzada era inferior a 0.9), quedaron para incluir en el estudio el 69% de las ondas P inicialmente presentes en los registros electrocardiográficos anteriores al aislamiento de las venas pulmonares, y el 75% de las ondas P procedentes de los registros posteriores al procedimiento.

En la Figura 2, a modo de ejemplo, se han representado gráficamente los loops de las ondas P de un paciente antes (primera gráfica) y después (segunda gráfica) del aislamiento de las venas pulmonares. Además, en la tercera gráfica, para facilitar la comparativa visual, se ha incluido un detalle de 10 loops de las subfiguras anteriores.

En estas figuras, se puede observar que no hay cambios en la fase de los vectores de los loops al comparar antes y después, pero sí hay cambios en la morfología. Estos cambios se reflejan en las características analizadas: tanto el primer como el segundo autovalor se incrementan tras el procedimiento, y la medida de la morfología de los loops se reduce, siendo estos menos redondos después del mismo.

A continuación, se muestra la Tabla 1, en la que se indican los resultados numéricos de las características analizadas, el promedio para los pacientes junto con la desviación estándar, así como el p-valor calculado mediante el test de t-Student pareado, que indica si dichos cambios son estadísticamente significativos, ya que las variables bajo estudio siguen una distribución normal.

Características	Antes	Después	p-valor
λ_1	5800±3000	7600±3200	0.0023*
λ_2	1700±500	1900±700	0.3241
ρ	0.35±0.19	0.30±0.20	0.0378*

Tabla 1. Resultados promedio para los pacientes incluidos en la cohorte bajo estudio. Los valores de las características se comparan antes y después del aislamiento de las venas pulmonares (promedio±desviación estándar). El símbolo * indica diferencias estadísticamente significativas (p -valor < 0.05).

En la Figura 3 se han incluido también tres gráficas con los diagramas de caja para observar el comportamiento de cada una de las características analizadas en los pacientes de la cohorte bajo análisis.

Las gráficas y la tabla muestran que el primer autovalor (λ_1) es significativamente mayor tras el aislamiento de las venas pulmonares, reflejándose así un incremento de interés en la diagonal mayor de los loops de las ondas P. Asimismo, también se puede observar que la medida de la

morfología de los loops (ρ) decrece significativamente tras el procedimiento de ablación, indicando que los loops de las ondas P son más alargados y menos redondos al finalizar dicho procedimiento.

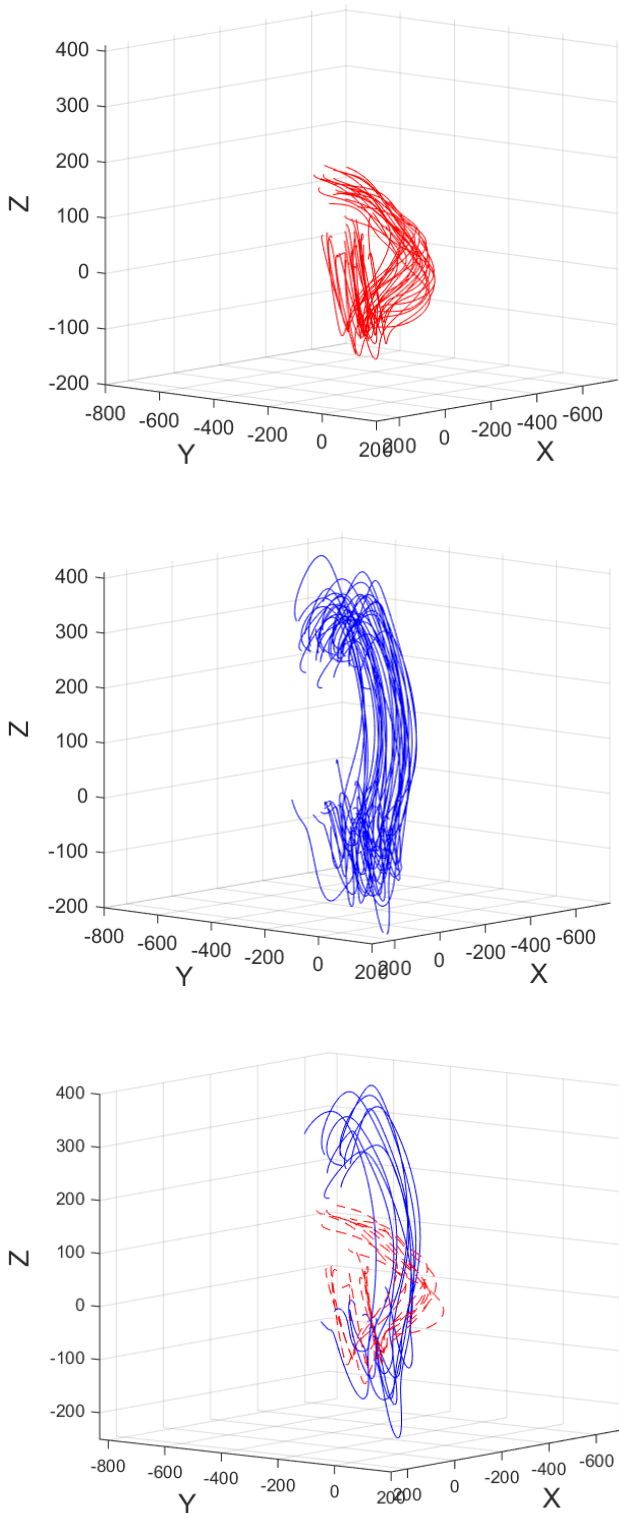


Figura 2. Loops correspondientes a las ondas P de un paciente del estudio. Primera y segunda gráficas: antes/después del aislamiento de las venas pulmonares, respectivamente. Tercera gráfica: detalle de los primeros 10 loops antes (línea discontinua en color rojo) y después (línea continua en color azul).

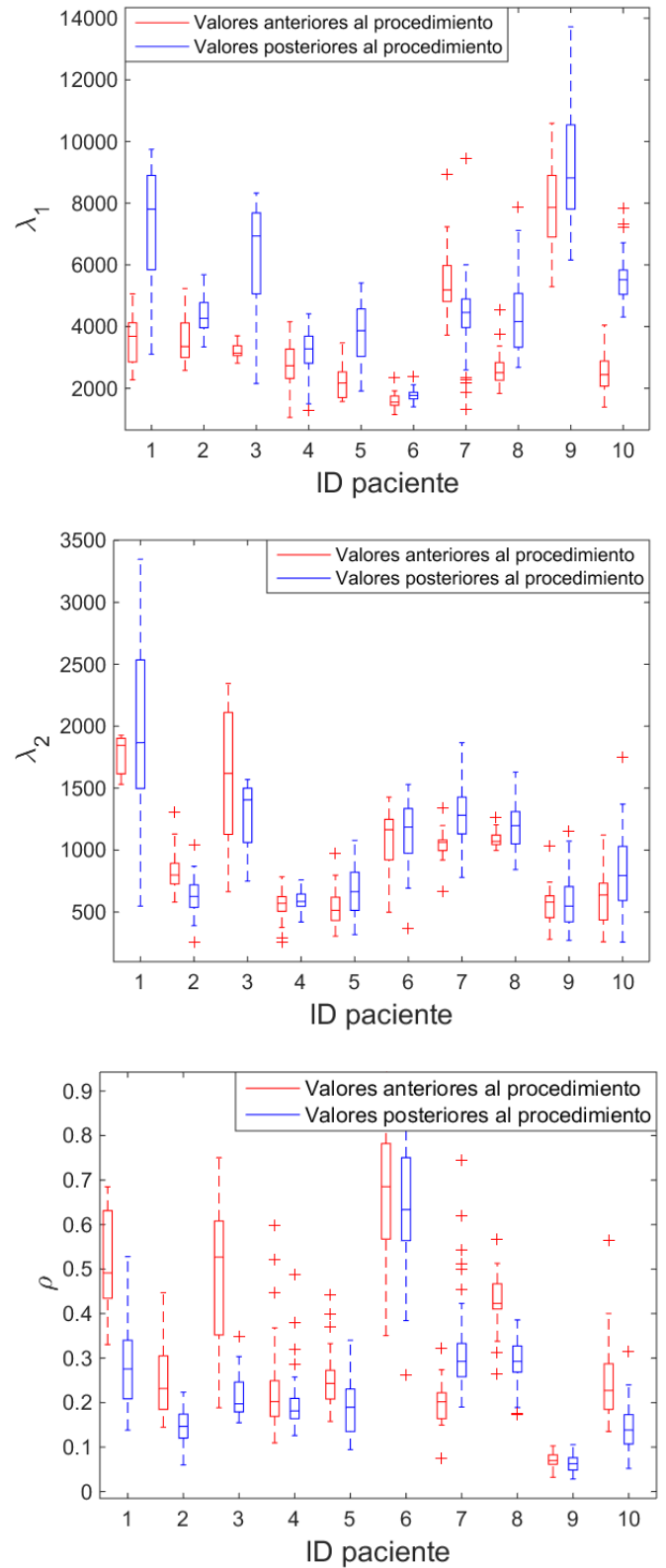


Figura 3. Diagramas de cajas para las características analizadas: primer autovalor (primera gráfica), segundo autovalor (segunda gráfica), medida de redondez (tercera gráfica).

5. Discusión y conclusiones

El objetivo del presente estudio ha sido analizar las diferencias morfológicas en los loops correspondientes a las ondas P tras el procedimiento de aislamiento de venas pulmonares mediante ablación por catéter en pacientes con fibrilación auricular paroxística.

La mayor parte de las referencias que analizan cómo se ve reflejado el aislamiento de las venas pulmonares en el electrocardiograma de superficie y en sus recurrencias se han centrado en la duración de las ondas P, así como en el decremento de la variabilidad de la morfología latido a latido.

En este estudio, sin embargo, se han analizado los cambios que se producen en los loops de las ondas P del vectocardiograma tras la ablación por catéter. Se han mostrado el análisis del primer y segundo autovalores de los loops, así como una medida de la redondez de los mismos, que han demostrado que el procedimiento introduce cambios morfológicos en la señal eléctrica. Los loops de las ondas P son significativamente menos redondos, con forma más elipsoidal al finalizar dicho procedimiento.

Estos resultados indican que el aislamiento de las venas pulmonares modifica el patrón de propagación eléctrico en las aurículas, y que dichos cambios pueden visualizarse en el vectocardiograma.

El trabajo futuro irá enfocado a aumentar la cohorte de pacientes bajo estudio, incluir otras características del vectocardiograma en el análisis, e investigar las posibles relaciones entre las características analizadas y la aparición de arritmias tras el procedimiento de aislar las venas pulmonares.

Agradecimientos

N. Ortigosa agradece el apoyo del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades en el marco del Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad en I+D+i -Subprograma Estatal de Movilidad- con la beca CAS19/00168, de la Generalitat Valenciana con el proyecto Prometeo/2017/102 y del MINECO con el proyecto MTM2016-76647-P.

Referencias

[1] Kirchhof P, Benussi S, Kotecha D, Ahlsson A, Atar D, et al. 2016 ESC Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS.

- European Heart Journal*, vol 37, sup 38, 2016, pp 2893-2962 (ISSN: 0195-668X).
- [2] January C, Wann L, Alpert J, Calkins H, et al. 2014 AHA/ACC/HRS Guideline for the Management of Patients With Atrial Fibrillation. A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. *Journal of the American College of Cardiology*, vol 64, sup 21, 2014, pp. e1–e76 (ISSN: 0735-1097).
- [3] Gill J. How to perform pulmonary vein isolation. *Europace*, vol 6, sup 2, 2004, pp 83–91 (ISSN: 1099-5129).
- [4] Kis Z, Muka T, Franco O, Bramer W, de Vries et al. The Short and Long-Term Efficacy of Pulmonary Vein Isolation as a Sole Treatment Strategy for Paroxysmal Atrial Fibrillation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Current Cardiology Reviews*, vol 13, sup 3, 2017, pp 199-208 (ISSN: 1573-403X).
- [5] Jared T, Cutler M. Is pulmonary vein isolation still the cornerstone in atrial fibrillation ablation? *Journal of Thoracic Disease*, vol 7, sup 2, 2015, pp 132–141 (ISSN: 2072-1439).
- [6] Ogawa M, Kumagai K, Vakulenko M, Yasuda T, et al. Reduction of P-wave duration and successful pulmonary vein isolation in patients with atrial fibrillation. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, vol 18, sup 9, 2007, pp 931–938 (ISSN: 1045-3873).
- [7] Kaypakli O, Koca H, Sahin D, et al. Association of P wave duration index with atrial fibrillation recurrence after cryoballoon catheter ablation. *Journal of Electrocardiology*, vol 51, sup 2, 2018, pp 182-187 (ISSN: 0022-0736).
- [8] Dilaveris P, Gialafos J. P-Wave Dispersion: A Novel Predictor of Paroxysmal Atrial Fibrillation. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, vol 6, sup 2, 2001, pp 159-165 (ISSN: 1542-474X).
- [9] Censi F, Corazza I, Reggiani E, Calcagnini G, Mattei E, Triventi M, Boriani G. P-wave Variability and Atrial Fibrillation. *Scientific Reports*, vol 6, 2016, pp 1-7 (ISSN: 2045-2322).
- [10] Ortigosa N, Cano O. P-wave analysis in paroxysmal atrial fibrillation patients before and after pulmonary vein isolation. *Computing in Cardiology*, vol 44, 2017, pp 1-4. (ISSN: 2325-887X).
- [11] Meyer CR, Keiser HN. Electrocardiogram baseline noise estimation and removal using cubic splines and state space computation techniques. *Computers and Biomedical Research*, vol 10, 1977, pp 459-470 (ISSN: 0010-4809).
- [12] Kors J, van Herpen G, Sittig A, van Bommel J. Reconstruction of the Frank vectorcardiogram from standard electrocardiographic leads: diagnostic comparison of different methods. *European Heart Journal*, vol 11, sup 12, 1990, pp 1083-1092 (ISSN: 0195-668X).