

# Variación del ángulo entre QRS y onda T del ECG en función del índice de esfericidad ventricular en sujetos con crecimiento intrauterino retardado: un estudio computacional

Freddy L. Bueno-Palomeque<sup>1,2,3</sup>, Konstantinos A. Mountris<sup>1,2</sup>, Ana Mincholé<sup>1,2</sup>, Nuria Ortigosa<sup>4</sup>, Raquel Bailón<sup>1,2</sup>, Esther Pueyo<sup>1,2</sup>, Pablo Laguna<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Afiliación: BSICoS

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.

Tel. +593 995354158, e-mail: [812750@unizar.es](mailto:812750@unizar.es)

<sup>2</sup>Afiliación: CIBER en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN), Zaragoza, Spain

<sup>3</sup>Afiliación: GIIB-UPS, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador

<sup>4</sup>Afiliación: I.U. Matemática Pura y Aplicada, Universitat Politècnica de València, Spain

## Resumen

Pacientes con crecimiento intrauterino retardado (CIR) presentan variaciones anatómicas y electrofisiológicas en el corazón y su relación todavía no se conoce. Este estudio investiga mediante simulación computacional el impacto del aumento del índice de esfericidad ventricular y se valida con el cambio en los vectores de la despolarización y repolarización, en una cohorte de pacientes y sujetos control.

## Introducción

La relación entre CIR y el remodelado cardíaco se evidencia desde la etapa fetal hasta la madurez, y es ampliamente conocido como una causa para desarrollar enfermedades cardíacas en la adultez [1]. Anatómicamente, estos pacientes presentan un acortamiento en la distancia apicobasal y un mayor diámetro basal reduciendo el índice de esfericidad, lo que provoca la reducción de movimiento longitudinal ventricular [2]. Electrofisiológicamente, se han observado cambios significativos en la despolarización y repolarización y en su relación angular medida a través del VCG [3]. El objetivo de este estudio es evaluar la hipótesis de que el remodelado anatómico cardíaco lleva asociado las anomalías observadas en el VCG de pacientes, utilizando modelos computacionales basados en anatomías de corazón y torso realistas.

## Materiales y métodos

Partimos de un modelo biventricular humano como anatomía de control. Se simula la actividad eléctrica utilizando el modelo de propagación monodominio (O'Hara Rudy 2011) en elementos finitos y se

calcula el pseudo ECG utilizando las posiciones de 10 electrodos virtuales en un modelo de torso [4]. Se incluyeron heterogeneidades transmural entre el endocardio, miocardio medio y epicardio en una proporción de 30, 30 y 40% respectivamente. Además, se introduce un gradiente en la duración del potencial de acción en la dirección ápex-base basado en la modulación de la corriente lenta de potasio  $I_{Ks}$ . La activación de la actividad eléctrica se realiza a través de una red de Purkinje que se conecta con el tejido endocárdico [5] y utiliza el modelo de Stewart. Se generaron seis variantes de modelo anatómico, simulando los efectos del cambio en el índice de esfericidad. Se utilizaron dos formas distintas de reducir la longitud ápex-base. Primero se aplicó presión sobre toda la superficie epicárdica, manteniendo la base del modelo fijo ( $Z\uparrow$ ), y en el segundo caso, se cambió la dirección de la presión y se mantuvo el ápex fijo ( $Z\downarrow$ ). En cuanto al ensanchamiento del diámetro basal, primero se expandió el epicardio del ventrículo izquierdo ( $Y\rightarrow$ ), otra forma fue presionar el septum ventricular desde la pared ventricular izquierda ( $Y\leftarrow$ ) y finalmente presionando homogéneamente toda la pared endocárdica del ventrículo izquierdo ( $Y\cdot\cdot$ ). Se simularon tres latidos con una duración de 1000 ms cada ciclo, aplicando un estímulo rectangular de amplitud 200mA. El VCG se obtuvo utilizando la matriz inversa de Dower.

## Resultados

La tabla 1 muestra una reducción de la mayoría de los ángulos entre la despolarización y la repolarización en la simulación de CIR 1 ( $Z\downarrow$ ,  $Y\leftarrow$ ), con respecto a la de control. Estos resultados están de acuerdo con la reducción descrita en la cohorte de pacientes en [7]. Las derivaciones I, II y V3 a V6, en

CIR 1 muestran una mayor amplitud de potencial y un mayor aporte a los ejes X y Y en el VCG, influyendo en la dirección de los vectores dominantes. Las diferentes simulaciones han permitido observar que el punto de referencia sobre el cual se deforma el modelo ventricular, afecta directamente sobre los ángulos de polarización y despolarización, haciendo que los resultados dependen de ello. Resultados preliminares fueron presentados en [6] y en el presente estudio, la incorporación de la dispersión de la duración del potencial de acción en la repolarización, ha permitido obtener resultados más cercanos a los resultados clínicos.

## Conclusiones

La variación anatómica del índice de esfericidad del corazón, reproducida en simulación controlada, modifica buena parte de los vectores de despolarización y repolarización de forma análoga a la tendencia reportada en la literatura (Tabla 1). Estos resultados son sensibles no solo al índice de esfericidad sino también a la posición relativa de los ventrículos respecto al torso, y a los electrodos sobre él localizados. Introduciendo un factor adicional a la esfericidad en la interpretación de los resultados obtenidos.

## REFERENCIAS

[1]. UEDA, P., CNATTINGIUS, S., STEPHANSSON, O., INGELSSON, E., LUDVIGSSON, J.F. and BONAMY, A.K.E. Cerebrovascular and ischemic heart disease in young adults born preterm: A population-based Swedish cohort study. *European Journal of Epidemiology*. 2014. 29(4), 253–260. DOI 10.1007/s10654-014-9892-5.

[2]. SARVARI, S.I., RODRIGUEZ-LOPEZ, M., NUÑEZ-

GARCIA, M., SITGES, M., SEPULVEDA-MARTINEZ, A., CAMARA, O., BUTAKOFF, C., GRATACOS, E., BIJNENS, B. and CRISPI, F. Persistence of Cardiac Remodeling in Preadolescents With Fetal Growth Restriction. *Circulation: Cardiovascular Imaging*. 2017. 10(1), DOI 10.1161/CIRCIMAGING.116.005270.

[3]. ORTIGOSA, N., RODRIGUEZ-LOPEZ, M., BAILÓN, R., SARVARI, S.I., SITGES, M., GRATACOS, E., BIJNENS, B., CRISPI, F. and LAGUNA, P. Heart morphology differences induced by intrauterine growth restriction and preterm birth measured on the ECG at preadolescent age. *Journal of Electrocardiology*. 2016. 49(3), 401–409. DOI 10.1016/j.jelectrocard.2016.03.011.

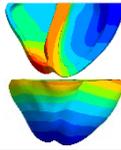
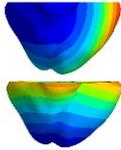
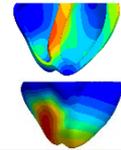
[4]. ZACUR, E., MINCHOLE, A., VILLARD, B., CARAPPELLA, V., ARIGA, R., RODRIGUEZ, B. and GRAU, V. MRI-Based Heart and Torso Personalization for Computer Modeling and Simulation of Cardiac Electrophysiology. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 2017. 10549 LNCS 61–70. DOI 10.1007/978-3-319-67552-7\_8.

[5]. SAHLI COSTABAL, F., HURTADO, D.E. and KUHL, E. Generating Purkinje networks in the human heart HHS Public Access. *J Biomech*. 2016. 49(12), 2455–2465. DOI 10.1016/j.jbiomech.2015.12.025.

[6]. BUENO-PALOMEQUE, F.L., MOUNTRIS, K.A., MINCHOLE, A., ORTIGOSA, N., BAILÓN, R., PUEYO, E. and LAGUNA, P. Changes in QRS and T-wave Loops Subsequent to an Increase in Left Ventricle Globularity as in Intrauterine Growth Restriction: A Simulation Study. *Computing in Cardiology*. 2020. 2020-September. DOI 10.22489/CINC.2020.438.

[7]. ORTIGOSA, N., RODRIGUEZ-LOPEZ, M., BAILÓN, R., SEPULVEDA-MARTINEZ, A., GRATACOS, E., CRISPI, F. and LAGUNA, P. Intrauterine Growth Restriction Induced ECG Morphological Differences Measured in Adulthood. *Computing in Cardiology*. 2018. 2018-Sept 3–6. DOI 10.22489/CinC.2018.302.

**Tabla 1. Ángulos de despolarización y repolarización del modelo control y de tres diferentes modelos redondeados. Contraste con los datos clínicos presentados en [7]. \*\*p-value < 0.01.**

							
Ángulo [grados]	Control n=33	IUGR n=54	Control simulado	CIR 1 simulado	CIR 2 simulado	CIR 3 simulado	
$\theta_{RT-XY}$	13.49 ± 13.65	9.26 ± 8.47 **	4.89	4.18	7.11	6.04	
$\Phi_{R-XZ} - \Phi_{T-XZ}$	3.45 ± 9.61	2.54 ± 8.43	5.90	5.51	4.43	5.38	
$\Phi_{R-XY} - \Phi_{T-XY}$	15.05 ± 14.14	7.59 ± 14.58 **	-4.54	-5.04	1.97	-1.47	
$\Phi_{R-YZ} - \Phi_{T-YZ}$	-14.11 ± 13.99	-7.35 ± 13.96 **	-2.27	-1.28	-6.45	-4.23	