

La agrupación no supervisada de electrocardiogramas revela asociaciones con características de resonancia magnética cardíaca

Josseline Madrid ¹, Mihir Sanghvi ², William J Young ², Stefan van Duijvenboden ³, Patricia B Munroe ², Julia Ramírez ^{1,2,4}, Ana Mincholé ^{1,4}

¹ Biomedical Signal Interpretation and Computational Simulation
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), IIS,
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.
Tel. +34-976762707, e-mail: jmadrid@unizar.es

² Instituto de Investigación William Harvey, Barts y la Facultad de Medicina y Odontología de Londres, Universidad Queen Mary de Londres, Londres, Reino Unido

³ Universidad de Oxford, Oxford, Reino Unido

⁴ Centro de Investigación Biomédica en Red – Biomateriales, Bioingeniería y Nanomedicina

Resumen

Utilizando parámetros del electrocardiograma, identificamos tres grupos en 51.974 personas sin diagnóstico de enfermedades cardiovasculares del Biobanco del Reino Unido mediante agrupación k-medias. Estos grupos mostraron diferencias significativas en la morfología del electrocardiograma y en su anatomía cardíaca, esto sugiere que la fenotipificación electrocardiográfica no supervisada revela variaciones cardíacas significativas.

Introducción

La resonancia magnética cardíaca (CMR, por sus siglas en inglés) se considera el método de referencia para evaluar la morfología y la función cardíaca [5]. Sin embargo, su complejidad y coste limitan su uso para el cribado a gran escala. En cambio, el electrocardiograma (ECG) es una herramienta accesible para evaluar anomalías estructurales y funcionales [2]. Estudios previos han explorado las asociaciones entre las características individuales del ECG y las mediciones estructurales derivadas de la CMR [1], lo que sugiere que los patrones del ECG proporcionan información sobre la remodelación y la enfermedad miocárdica regional. Las técnicas de agrupamiento no supervisadas basadas en el ECG [4] aún no se han explorado en la población general. Esto podría ayudar a detectar variaciones cardíacas subclínicas y respaldar la detección temprana y de bajo costo de individuos asintomáticos.

Planteamos la hipótesis de que existen subgrupos de individuos sin enfermedades cardiovasculares (CVD, por sus siglas en inglés) diagnosticadas que tienen fenotipos distintos basados en el ECG y cada uno de

ellos presenta diferencias significativas en la anatomía cardíaca.

Métodos

Nuestra población de estudio incluyó 51.974 personas sin CVD diagnosticadas, que participaron en el estudio de imágenes de CMR del Biobanco del Reino Unido (UKB, número de solicitud 2964) [6] y que se les registró un ECG de 12 derivaciones de 10 segundos en reposo.

Se obtuvieron características del ECG espaciales e individuales por cada derivación (N = 242) de cada latido cardíaco mediano (derivaciones I, II, V1–V6). [3] Las características del ECG se ajustaron por edad, sexo e índice de masa corporal (IMC) mediante modelos de regresión lineal multivariable. Los residuos resultantes se estandarizaron y se utilizaron en los análisis posteriores. Finalmente, se empleó un algoritmo de agrupamiento de k-medias para categorizar a los individuos en k grupos según sus características del ECG.

Se realizaron análisis estadísticos para comparar el ECG, los factores de riesgo cardiovascular y las características de CMR en cada grupo. La contribución de las características del ECG al proceso de agrupamiento se evaluó mediante un modelo de ‘Random Forest’ (bosque aleatorio). Las características del ECG más relevantes identificadas se investigaron con mayor profundidad para evaluar su relación con los parámetros anatómicos cardíacos derivados de la CMR dentro de cada grupo.

Resultados

El hallazgo principal de este estudio es la identificación de tres grupos distintos basados en el ECG (N1 = 19.470, N2 = 22.256, N3 = 8.997) entre una población de más de 51.000 individuos sin CVD diagnosticadas en UKB, utilizando agrupamiento no supervisado y evaluando el grado de alineación electroanatómica dentro de cada grupo. Estos grupos mostraron diferencias estadísticamente significativas en la morfología del ECG y las características anatómicas derivadas de CMR (*Tabla 1*), lo que subraya el potencial del fenotipado del ECG para revelar la variación cardíaca subyacente incluso en poblaciones aparentemente sanas. Las características del ECG más discriminatorias implicaron la repolarización ventricular en las derivaciones precordiales (amplitudes de los segmentos QRS, T y ST, incluyendo el índice de variabilidad morfológica de la onda T). El grupo 3 mostró la alineación electroanatómica más fuerte, con los volúmenes telesistólico y telediastólico del ventrículo derecho contribuyendo de forma importante (o impulsando gran parte) de la variación del ECG entre los grupos.

Conclusiones

Nuestros hallazgos demuestran que la fenotipificación electrocardiográfica mediante agrupamiento no supervisado puede revelar diferencias cardíacas anatómicas, lo que ofrece nuevas perspectivas sobre la variación cardiovascular temprana en la población general. Futuras investigaciones deberían evaluar las

implicaciones longitudinales y pronósticas de estos agrupamientos fenotípicos.

Referencias

[1] BRAR, S. et al. Correlación del ECG y la resonancia magnética cardíaca para la evaluación de la hipertrofia y dilatación ventricular en adultos con tetralogía de Fallot reparada. En la Revista Internacional de Cardiología y Cardiopatías Congénitas . 2024. Vol. 16, s. 100508.

[2] KAMEL, H. et al. Asociación entre la anomalía auricular izquierda en el ECG y la lesión cerebral vascular en la RM en el Estudio de Salud Cardiovascular. En Stroke . 2015. Vol. 46, n.º 3, s. 711–716.

[3] MADRID, J. et al. La agrupación no supervisada de electrocardiogramas de una sola derivación se asocia con la insuficiencia cardíaca prevalente e incidente en la enfermedad coronaria. En European Heart Journal - Digital Health [en línea]. 2025. s. ztaf013. Doi : <<https://doi.org/10.1093/ehjdh/ztaf013>>.

[4] NEZAMABADI, K. et al. [sl]: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos Inc., 2023. .

[5] PETERSEN, SE et al. Rangos de referencia para la estructura y función cardíacas mediante resonancia magnética cardiovascular (RMC) en personas caucásicas de la cohorte poblacional del Biobanco del Reino Unido. En Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance . 2017. Vol. 19, n.º 1.

[6] SUDLOW, C. et al. UK Biobank: Un recurso de acceso abierto para identificar las causas de una amplia gama de enfermedades complejas en la mediana edad y la vejez. En PLOS Medicine [en línea]. 2015. Vol. 12, n.º 3, s. e1001779. [citado el 22 de mayo de 2023]. <<https://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1001779>>.

Tabla 1. Factores de riesgo cardiovascular y características de CMR en la población de estudio y entre grupos

Característica	Todos (N=51,974)		Grupo 1 (N=19,470)		Grupo 2 (N=22,256)		Grupo 3 (N=8,997)		P Value
Factor de riesgo									
Sexo, no. [%]	23021	45.4%	8675	44.6%	10192	45.8%	4154	46.2%	0.01
Edad, yr	65	11.0	64	12.0	65	11.0	65	12.0	< 0.001
IMC, kg/m²	25.8	5.4	25.56	5.4	25.8	5.3	26.2	5.6	< 0.001
PAS, mmHg	139	25.5	137	25.0	139	25.5	142	26.0	< 0.001
PAD, mmHg	78.5	13.5	78.5	14.0	78.5	13.5	80.5	14.0	< 0.001
Diabetes, no. [%]	2284	4.5%	788	4.1%	943	4.2%	553	6.2%	< 0.001
Fumador, no. [%]	1755	3.5%	692	3.6%	770	3.5%	293	3.3%	0.45
Consumo de alcohol, no. [%]	8468	16.7%	3400	17.5%	3534	15.9%	1534	17.1%	< 0.001
CMR									
LVEDV, ml	141.2	44.6	140.8	43.6	140.9	44.8	142.9	46.0	< 0.001
LVESV, ml	56.2	23.5	56.0	23.0	56.3	23.5	56.5	24.6	0.20
LVM, g	81.0	31.3	79.8	30.4	80.9	31.1	83.6	33.9	< 0.001
LVMVR, %	0.6	0.1	0.6	0.1	0.6	0.1	0.6	0.1	< 0.001
RVEDV, ml	149.7	51.0	151.2	50.8	149.1	51.8	148.3	50.2	< 0.001
RVESV, ml	63.3	28.2	64.5	28.6	62.6	28.4	62.2	27.5	< 0.001
WT, mm	9.2	2.1	9.1	2.1	9.1	2.0	9.4	2.2	< 0.001

IMC: índice de masa corporal, PAS: presión arterial sistólica, PAD: presión arterial diastólica, CMR: resonancia magnética cardíaca, LVM: masa del ventrículo izquierdo, LVMVR: Relación masa-volumen del ventrículo izquierdo, LV: ventrículo izquierdo, RV: ventrículo derecho, EDV: volumen telediastólico, ESV: volumen telesistólico, WT: grosor de pared.