

REC: CardioClinics

www.reccardioclinics.org

Artículo original

Modelo de predicción para cuantificar la fracción de eyección recuperada del ventrículo izquierdo en taquimiocardiopatía



Álvaro Izquierdo-Bajo^a, Rocío Cózar-León^{a,b,*}, Diego F. Arroyo-Moñino^a,
Inmaculada Fernández-Valenzuela^a, Pablo Bastos-Amador^a,
José Miguel Carreño-Lineros^a y Ernesto Díaz-Infante^a

^a Unidad de Arritmias, Hospital Universitario Virgen Macarena, Sevilla, España

^b Facultad de Medicina, Universidad de Sevilla (US), Sevilla, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 12 de julio de 2023

Aceptado el 4 de octubre de 2023

On-line el 11 de noviembre de 2023

Palabras clave:

Taquimiocardiopatía

Disfunción ventricular

Predictores

Fibrilación auricular

Miocardiopatía inducida por

arritmia

RESUMEN

Introducción y objetivos: La taquimiocardiopatía es una causa frecuente de disfunción ventricular reversible, cuyos predictores de recuperación no están bien establecidos. Su estimación individual resultaría útil para la toma de decisiones invasivas derivadas.

Métodos: Estudio retrospectivo, observacional y unicéntrico. Se recogieron casos confirmados de taquimiocardiopatía entre septiembre de 2015 y enero de 2023. La muestra se dividió en 2 partes: una para la construcción de un modelo de regresión lineal mediante el método de todas las posibles ecuaciones (muestra 1: 70%) y otra para su validación (muestra 2: 30%).

Resultados: Se recogió a 134 pacientes, y se calculó la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) recuperada (final menos inicial) en todos ellos. A partir de la muestra 1 se estimaron los parámetros de ajuste de 16.383 modelos; según el índice de Mallows, se seleccionó el compuesto por el sexo, hipertensión arterial, FEVI al diagnóstico, la consecución del control del ritmo y someterse a ablación. El modelo elegido explica cerca de la mitad de la variabilidad individual de la FEVI recuperada (R^2 : 0,493). Posteriormente se comparó la recuperación individual de la FEVI predicha por el modelo con la observada en la muestra 2, sin diferencias globales significativas en el coeficiente de determinación R^2 .

Conclusiones: El sexo, la hipertensión arterial, la FEVI al diagnóstico, el control del ritmo y recibir ablación se comportaron como predictores de la recuperación de la FEVI en pacientes con taquimiocardiopatía, lo cual permite su estimación cuantitativa individual al integrarse en el modelo.

© 2023 Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de Sociedad Española de Cardiología.

Abreviaturas: ARA-II, Inhibidor del receptor de la angiotensina II; FA, Fibrilación auricular; FEVI, Fracción de eyección de ventrículo izquierdo; HTA, Hipertensión arterial; IECA, Inhibidor de la enzima de conversión de angiotensina.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: rcozar@us.es (R. Cózar-León).

<https://doi.org/10.1016/j.rccl.2023.10.002>

2605-1532/© 2023 Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de Sociedad Española de Cardiología.

Prediction model to quantify recovered left ventricular ejection fraction in tachycardiomyopathy

A B S T R A C T

Keywords:

Tachycardiomyopathy
Ventricular dysfunction
Predictors
Atrial fibrillation
Arrhythmia-induced
cardiomyopathy

Introduction and objectives: Tachycardiomyopathy is a frequent cause of reversible ventricular dysfunction, whose predictors of recovery are not properly identified. Their individual estimate would be useful to carry out the corresponding invasive procedures.

Methods: This is an observational, retrospective and unicentral study. Cases diagnosed with tachycardiomyopathy were collected between September 2015 and January 2023. The sample was split into 2 study groups: the first one was used for the construction of the linear regression model by performing a multivariate analysis based on evaluating all possible equations (sample 1, 70%); whereas the second one was intended for the validation of the model (sample 2, 30%).

Results: A total of 134 patients were gathered and left ventricular ejection fraction (LVEF) at recovery (the difference between final and original LVEF) was calculated in all of them. Within sample 1, setting parameters of 16,383 models were estimated. The model selected, based on Mallows' Cp index, was the composed of the following variables: sex, arterial hypertension (HT), LVEF at diagnosis, achievement of rhythm control, and ablation. The selected model explains about half of the individual variability of the recovered LVEF (R^2 0.493). Afterwards, individual LVEF at recovery predicted by the model was compared with the observed LVEF in sample 2. No overall significant differences were observed in the R^2 coefficient of determination.

Conclusions: Sex, arterial hypertension, LVEF at diagnosis, achievement of rhythm control, and ablation were considered as predictors of recovered LVEF in patients with tachycardiomyopathy. This has made possible a quantitative estimate when integrating them within the model.

© 2023 Published by Elsevier España, S.L.U. on behalf of Sociedad Española de Cardiología.

Introducción

En los últimos años la taquimiocardiopatía ha suscitado gran interés clínico. Esta puede ocasionarse por la contracción miocárdica rápida, irregular o asincrónica, siendo su principal seña de identidad la parcial o total reversibilidad tras el control de la arritmia implicada.

Dentro del espectro de la taquimiocardiopatía cabría distinguir 2 aspectos: aquella que se establece en pacientes sin cardiopatía estructural previa (taquimiocardiopatía «pura» o inducida por arritmia) y la que se da en pacientes con afectación miocárdica previa (taquimiocardiopatía superpuesta o agravada por arritmia)¹. Aunque algunos estudios señalan que el beneficio obtenido por el control del ritmo en estos últimos es menor, su tratamiento continúa ofreciendo beneficios². El diagnóstico implica en un primer término la exclusión de otras causas de disfunción ventricular y, en última instancia, éste se establece a posteriori al objetivar la recuperación de FEVI tras finalizar o controlar la arritmia responsable^{3,4}. El estudio de Prabhu et al. ejemplificó la importancia del diagnóstico precoz en humanos⁵. En él, la ausencia de realce tardío en la resonancia magnética cardiaca se asoció a la reversibilidad de la taquimiocardiopatía por fibrilación auricular (FA), sugiriendo que en estadios más avanzados con un mayor grado de remodelado y por ende de fibrosis, el beneficio obtenido del control del ritmo es inferior.

Por tanto, la taquimiocardiopatía es una causa potencialmente reversible de disfunción ventricular en la que, sea cual sea la arritmia causal, el objetivo será interrumpir el círculo vicioso disfunción ventricular. No obstante, la intervención inicial se realiza sobre una sospecha clínica (con mayor o menor justificación) y ya sea farmacológica o intervencionista (ablación, implante de dispositivo) no está exenta de complicaciones. Por ello, dado el riesgo que se asume al tratar a un paciente en base a una sospecha, resultaría apropiado disponer de predictores clínicos que permitieran estimar de forma individualizada qué pacientes son los que más se beneficiarían de estas intervenciones y al paciente recibir una mejor información sobre su riesgo/beneficio individual.

Métodos

Estudio observacional, retrospectivo y unicéntrico. Se seleccionó a mayores de 18 años con un diagnóstico incidente confirmado de taquimiocardiopatía en centro de tercer nivel en el periodo comprendido entre septiembre de 2014 y enero de 2022. El estudio fue aprobado por el comité ético de nuestra institución y no fue necesario recabar de nuevo consentimientos informados al ser un estudio observacional. Se consideró caso sospechoso de taquimiocardiopatía a aquellos pacientes con disfunción ventricular (FEVI < 50%) en el contexto de alguna taquiarritmia. Se consideró un diagnóstico confir-

mado cuando, tras la exclusión de otras causas de disfunción ventricular, el control de la arritmia condujo a una recuperación parcial o total de la función sistólica del ventrículo izquierdo (aumento relativo de la FEVI > 25% o absoluto > 15%). No se incluyeron pacientes con causas tratadas de forma concurrente salvo que existieran datos concretos de que esa otra causa no pudiera explicar de forma razonable la disfunción ventricular. Los pacientes fueron evaluados por dos de los investigadores para dilucidar si se trataba de una taquimiocardiopatía de acuerdo con los criterios expuestos. En caso de discordancia se argumentó hasta alcanzar un consenso y en caso contrario, no se incluyó al paciente. En el análisis se incluyó el sexo al nacimiento del paciente.

Metodología estadística

Las variables se describen con una medida central y de dispersión. Dado el número alcanzado de pacientes ($n = 134$) y la normalidad de la distribución, se optó por media y desviación estándar. En todos los pacientes se calculó la FEVI recuperada (la diferencia entre la FEVI tras el control de la arritmia y la FEVI al diagnóstico de la disfunción ventricular) o Δ FEVI.

Dado que el objetivo es obtener un modelo predictivo de recuperación de la FEVI, se construyó mediante el método de todas las posibles ecuaciones. En este método se introducen inicialmente todas aquellas variables que pueden tener un impacto sobre la variable que estimar si presentan una base teórica razonable, incluidos términos con interacción de variables. En síntesis, partiendo del conjunto global de variables tenidas en consideración (conjunto máximo) se lleva a cabo un análisis de todas sus posibles combinaciones. El modelo seleccionado será el que, con el mínimo número de variables, estime de forma más precisa la variable objetivo. El índice de Mallows (índice C_p) es el criterio de elección para seleccionar modelos lineales con finalidad predictiva, ya que conduce a modelos con el menor número posible de términos. El cuadrado del coeficiente de correlación múltiple (R^2) traduce el porcentaje de la variabilidad del parámetro que estimar, que queda explicado por el modelo concreto. La muestra se dividió en 2 partes de forma aleatoria: el 70% para la construcción del modelo (muestra 1) y el 30% (muestra 2) para su validación. Usando el modelo a partir de la muestra 1, se realizó una predicción de la recuperación de la FEVI en la muestra 2. Posteriormente se compararon los índices R^2 obtenidos en las respectivas muestras. Se asumió como aceptable una pérdida de predicción inferior al 10% ($[R^2 - r^2] < +10\%$). El análisis estadístico se realizó mediante el programa Stata 17.0 BE (Statacorp LLC, Estados Unidos).

A través de la consulta inicial y tras el procedimiento, se siguieron las directrices SAGER. Se tuvo en cuenta el sexo al nacimiento de los pacientes, todos los pacientes se identificaban como cisgénero. El presente manuscrito sigue las recomendaciones STROBE.

Resultados

Entre septiembre de 2014 y enero de 2022 se sospechó taquimiocardiopatía en 486 pacientes en nuestro centro. El diagnóstico se confirmó en 134 pacientes, con una edad media

Tabla 1 – Características basales

Características basales	Valores
Sexo varón	73,9
Edad media (años)	59,3 $\pm$ 11,16
Hipertensión arterial	51,5
Diabetes mellitus	21,6
Dislipemia	30,6
Obesidad	25,4
Fumador	18,7
Exfumador	22,4
Enolismo	18,7
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	11,2
Síndrome de apnea-hipopnea del sueño	14,9
Hipotiroidismo	8,2
Hipertiroidismo	4,5
Cardiopatía isquémica previa	3,0
Enfermedad valvular grave	3,7
Bloqueadores beta	99,3
IECA/ARA-II	71,6
Sacubitrilo-valsartán	23,9
Antagonistas del receptor mineralcorticoide	64,2
iSGLT-2	6,7
Diuréticos	76,9
Amiodarona	63,9
Sotalol	2,2
Antagonista de la vitamina K	35,8
Dabigatrán	13,4
Rivaroxabán	11,9
Apixabán	24,6
Edoxabán	7,5

La edad se recoge en años. El resto de los datos se expresan en porcentajes (%).

ARA-II: inhibidores de la enzima de conversión de la angiotensina II; IECA: inhibidores de la enzima de conversión de la angiotensina; iSGLT-2: inhibidores del cotransportador de sodio-glucosa tipo 2.

de 59,3 $\pm$ 11,16 años, el 73,9% de varones, tiempo de seguimiento medio 3,5 $\pm$ 2,34 años. Entre las razones que llevaron a no incluir finalmente a los otros 352 pacientes figuran la ausencia de confirmación del diagnóstico (disonancia entre recuperación de FEVI y control de la arritmia) o la concurrencia temporal de otro tratamiento cuyo resultado no pueda disgregarse del control del ritmo. Las características basales de los 134 pacientes se recogen en la [tabla 1](#). La arritmia responsable más frecuente fue la FA (67,9%), seguida del flutter auricular (FTA) (24,6%, de los cuales el 87,9% eran flutter común), extrasistolia ventricular (EV) (5,2%) y taquicardia auricular focal (2,2%) ([fig. 1](#)). El 6,0% de los pacientes presentaron FA y FTA común antes del primer procedimiento. La frecuencia cardiaca basal en el momento del diagnóstico fue de 136 $\pm$ 24,0 lpm excluyendo a los pacientes que tenían a la EV como arritmia responsable, en los que la carga al diagnóstico fue del 24,4 $\pm$ 8,0%. El tratamiento médico recibido se recoge en la [tabla 1](#).

En el 74,6% el diagnóstico se realizó durante un ingreso hospitalario por insuficiencia cardiaca, con una media de 1,03 $\pm$ 1,0 ingresos no programados por paciente durante el seguimiento. Al diagnóstico, la FEVI media de los pacientes fue del 33,2 $\pm$ 6,8%, con un diámetro telediastólico del ventrículo izquierdo (DTDVI) medio de 56,2 $\pm$ 7,0 mm, un desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo (TAPSE) medio de 17,4 $\pm$ 3,9 mm y un diámetro anteroposterior medio de aurí-

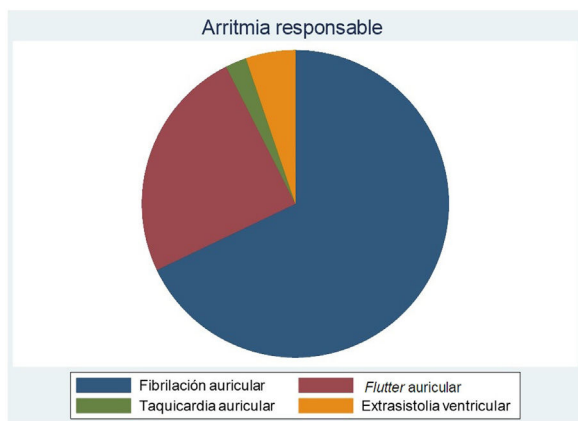


Figura 1 – Arritmia responsable.

Tabla 2 – Porcentaje de ablación según arritmia culpable

Tipo de arritmia	Ablación	Eficacia aguda
Fibrilación auricular	63,0	96,6
Flutter auricular	90,9	96,7
Taquicardia auricular	66,7	100
Extrasistolia ventricular	100	100

Se excluye la ablación del nódulo auriculoventricular. Se recogen los datos en porcentaje (%).

cula izquierda de $46,5 \pm 5,5$ mm. Se realizó coronariografía en el 59,7% de los pacientes, se confirmó enfermedad coronaria en el 15,0% y se revascularizó al 6,3% de todos los pacientes sometidos a coronariografía. Un bajo porcentaje de pacientes presentaban cardiopatía previa: cardiopatía isquémica 3,0% y valvulopatía grave 3,7%.

El primer tratamiento planificado de la arritmia fue exclusivamente farmacológico en el 19,4%, cardioversión eléctrica facilitada en el 53,0%, ablación directa en el 24,6% y estimulación cardíaca seguido de ablación del nódulo auriculoventricular en el 3,0%. En un 82,1% se logró finalmente el control del ritmo, del cual un 80,0% recibió ablación tras un tiempo medio de $8,1 \pm 8,7$ meses desde el diagnóstico de la disfunción ventricular. En la [tabla 2](#) se recoge el porcentaje de ablación (excluyendo la del nódulo auriculoventricular) para cada tipo de arritmia. Tras un tiempo medio de $10,8 \pm 10,5$ meses (mediana: 7,1; rango intercuartílico: 4,4-13,6) se objetivó una recuperación de función ventricular con FEVI media del $55,4 \pm 6,3\%$, con un DTDVI medio de $52,1 \pm 5,8$ mm y un TAPSE medio de $23,0 \pm 4,3$ mm. El 86,6% de los pacientes presentó una FEVI final superior al 50%. La diferencia media de FEVI con respecto al diagnóstico fue de $22,2 \pm 8,3\%$, independientemente de la arritmia causal ([fig. 2](#)). En la [figura 3](#) se muestran los diagramas de caja de la variación de FEVI, DTDVI y TAPSE de la recuperación con respecto al diagnóstico inicial.

Modelo de predicción de cuantificación de FEVI recuperada

La Δ FEVI se calculó en el total de pacientes. Tal y como se expone en el apartado de métodos, usando la muestra 1 se estimaron todos los posibles modelos de regresión lineal,

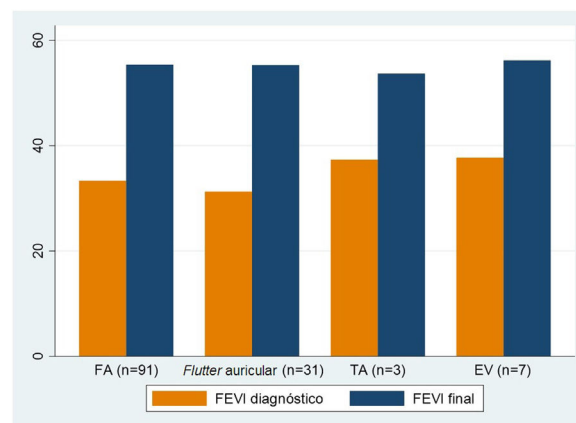


Figura 2 – Evolución de la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) según arritmia responsable. EV: extrasistolia ventricular; FA: fibrilación auricular; TA: taquicardia auricular.

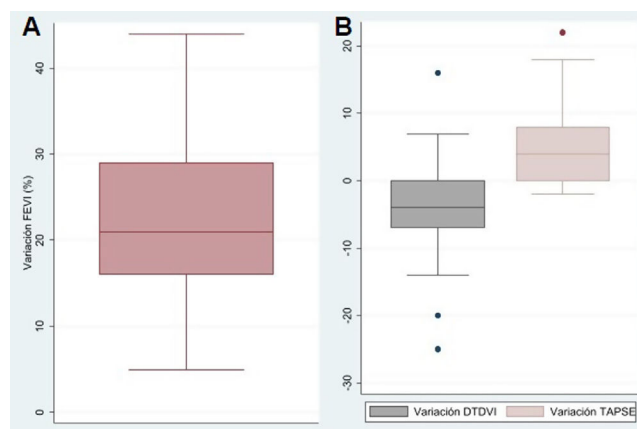


Figura 3 – Variación de la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI), diámetro telediastólico del ventrículo izquierdo (DTDVI) y desplazamiento sistólico del plano del anillo tricuspídeo (TAPSE).

que incluían los siguientes parámetros: sexo, edad, obesidad, consumo tóxico de alcohol (>6 unidades de bebida estándar [UBE]/día), hipertensión arterial (HTA), diabetes mellitus, enfermedad renal crónica, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, síndrome de apnea e hipopnea del sueño (SAHS), frecuencia cardíaca al diagnóstico, tipo de arritmia responsable (FA, FTA, taquicardia auricular o EV), FEVI al diagnóstico, tratamiento con inhibidores del receptor mineralcorticoide, estrategia de control del ritmo y tratamiento con ablación. No se incluyó el tratamiento con bloqueadores beta o inhibidores de la enzima convertidora de la angiotensina (IECA), inhibidores de la angiotensina II (ARA-II) o inhibidores de la neprililina y del receptor de la angiotensina (ARNI) por su práctica total aplicación. Se estimaron 16.383.071 modelos posibles. De estos, se rechazó a 17 por tener un índice Cp menor a 2 (riesgo de sobreajustamiento y colinealidad). El resto de los 16.366 modelos se ordenaron en función del Cp. El mejor modelo según los criterios de parsimonia y bondad

Tabla 3 – Modelo seleccionado de recuperación de FEVI

Variables	Coeficiente	Intervalo de confianza del 95%	Valor de p
Sexo femenino	0,062	–2,324-2,449	0,959
HTA	1,261	–0,886-3,409	0,247
FEVI diagnóstica	–0,840	–0,997 –0,683	<0,001
Control ritmo	4,009	1,106-6,913	0,007
Ablación	0,296	–2,220-2,812	0,816
Constante	45,903	39,804-52,126	—

FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo; HTA: hipertensión arterial

de ajuste fue el compuesto por 5 variables: sexo femenino, HTA, FEVI al diagnóstico, el control del ritmo como estrategia de tratamiento y haber recibido ablación (tabla 3). La ecuación completa del modelo sería:

$$\Delta\text{FEVI predicha} = 45,903 + 0,062 \times (\text{sexo femenino}) + 1,261 \times (\text{HTA}) - 0,840 \times (\text{FEVI al diagnóstico}) + 4,01 \times (\text{control del ritmo}) + 0,296 \times (\text{ablación})$$

Las variables cualitativas (sexo femenino, HTA, control del ritmo, ablación) puntuarían uno en caso de estar presentes y 0 en el contrario. La variable FEVI al diagnóstico se introduce como un número entero (ejemplo: 35 en caso de una FEVI del 35% al diagnóstico).

El modelo elegido presenta un Cp de 2,06, un índice R² de 0,493; es decir, el 49,3% de la variabilidad de la ΔFEVI quedaría explicada por el modelo en la muestra 1 (n=94). Posteriormente se comprobó su validez calculando la ΔFEVI predicha por el modelo en los pacientes de la muestra 2 (n=40) y estimando el índice R² ajustado resultante (tabla 4), que fue del 0,594. La diferencia entre R² de la muestra 1 y el de la muestra 2 fue –0,101 (–10,4%), inferior al +10%. No hubo diferencias en la significación de los predictores al aplicar el modelo a los pacientes con FEVI < 40%.

Discusión

Presentamos el primer trabajo que, hasta donde sabemos, intenta establecer una predicción individual de la FEVI en pacientes con taquimiocardiopatía. El modelo identifica los factores que explican una mayor recuperación de la FEVI y permite realizar una estimación individual. La finalidad de nuestro modelo no es dilucidar si la causa de la disfunción ventricular de un paciente es una taquimiocardiopatía, sino tratar predecir cuánto mejoraría la FEVI una vez tratada la arritmia si efectivamente esta fuera la causa de su disfunción ventricular.

En 1949, Philips y Levine establecieron una relación entre la FA rápida y la insuficiencia cardiaca reversible⁶. Desde entonces, se han desarrollado múltiples modelos que han pretendido reproducir el efecto de diferentes taquiarritmias sobre la función miocárdica⁷. En estos estudios, tras 24 h de estimulación rápida auricular ya se objetivó una reducción de la presión arterial sistólica y del gasto cardiaco que, al perpetuarse, aumentan las presiones de llenado y la presión capilar pulmonar, alcanzando una fase de meseta al cabo de una

Tabla 4 – Comparación entre ΔFEVI real y estimada por el modelo en la muestra 2

Id.	FEVI recuperada observada (%)	FEVI recuperada predicha (%)
1	20	17,9
5	18,5	24,5
6	29	25,3
7	8	9,9
10	25	22,7
12	5	18,2
17	20,7	19,8
22	22,3	24,6
26	36,3	32,4
30	13	13,4
31	26	26,1
32	31	24,4
33	18	19,5
40	12	19,5
44	17	19,4
49	25	30,7
58	5	18,7
59	22	22,9
65	30	35,7
67	11	14,0
68	25	21,9
72	20	20,5
74	18	14,5
79	12	15,4
82	41	33,2
84	24	27,6
86	34	24,5
87	18	18,9
98	22	22,1
104	28	29,9
107	28	24,4
108	35	23,7
109	20	22,9
110	12	13,1
115	32	32,4
121	31	22,2
122	11	19,5
128	15	27,0
132	22	25,2
134	38	24,4

FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo; ΔFEVI : FEVI recuperada.

semana. El gasto cardiaco, la FEVI y los volúmenes ventriculares continúan deteriorándose hasta 5 semanas después. No obstante, es la recuperación de los diferentes parámetros tras finalizar la estimulación rápida lo que caracteriza

la taquimiocardiopatía, poniendo de manifiesto su potencial reversibilidad y llegando a normalizar la FEVI en el plazo de 1-2 semanas⁸. Los mecanismos subyacentes a estos cambios no se han estudiado completamente, pero el incremento de la demanda tisular de oxígeno, la activación neurohormonal y las alteraciones en el manejo del calcio parecen tener algún papel en este proceso^{9,10}.

El tiempo hasta objetivar la recuperación de la FEVI, de 10,8 meses de media en nuestro trabajo, deriva del parámetro elegido (valor FEVI máximo), de la afectación por valores extremos y de la práctica clínica habitual.

En nuestra serie, al diagnóstico, el 61,9% de los pacientes presentaban una disfunción sistólica grave ($\leq 35\%$), con una ligera dilatación del VI, característica de la miocardiopatía inducida por arritmia. La arritmia involucrada más frecuentemente fue la FA (73%)³. El incremento medio en la FEVI fue significativo y clínicamente relevante (22,2% de media), lo cual pone de manifiesto la importancia de la sospecha y el tratamiento de la arritmia en estos pacientes.

En cuanto a la selección de pacientes, cerca de un 18% tenían un consumo excesivo de alcohol. Es posible que estos pacientes pudieran presentar un cierto solapamiento con la miocardiopatía tóxica de origen enólico y que, al haber cesado su consumo, hubieran experimentado una mejoría de la FEVI. De haber sido así, lo esperable es que el antecedente de enolismo hubiera sido uno de los factores predictores de recuperación de la FEVI, de tal manera que se controlara su efecto al entrar en el modelo. En cuanto a otro posible factor confusor, el 3,7% de los pacientes se sometió a revascularización de forma contemporánea al control de la arritmia. En estos pacientes, el grado de disfunción ventricular y los trastornos segmentarios no quedaban justificados por la enfermedad coronaria, por lo que se planteó que existieran otros factores implicados.

En el artículo de Gopinathannair et al. se analizaron factores de recuperación de la FEVI en pacientes con taquimiocardiopatía, incluidos 243 pacientes con una FEVI $< 40\%$ ¹¹. Los parámetros de recuperación de FEVI y de reducción en el DTDVI concuerdan con los observados en nuestra serie, aunque en su caso pusieron especial énfasis en la mejoría que experimentaban también aquellos pacientes con una duración incierta o mayor tiempo de evolución. Realizaron un análisis de regresión logística multivariado en el que solo la FEVI al diagnóstico se comportó como un predictor significativo de su recuperación. Aunque en nuestra muestra la FEVI al diagnóstico es el factor con mayor peso en el modelo, nuestro enfoque es radicalmente diferente. Por un lado, se contempla la FEVI desde el punto de vista cuantitativo; por otro, la metodología empleada persigue ofrecer una predicción individualizada según las características basales del paciente, por lo que se optó por el método de todas las posibles ecuaciones. Entendemos que es una aproximación con una vocación práctica y diferenciada del artículo previo, lo cual justifica su interés. Para la creación del modelo de predicción se dividió la muestra en 2 partes, y se comprobó la capacidad de predicción del modelo con pacientes diferentes a los utilizados para su construcción. Según se preespecifica, se aceptó una pérdida de poder de predicción del R^2 (el porcentaje de la variabilidad de la variable predicha que queda explicada por el modelo) del 10%. Que la diferencia de R^2 sea negativa implica que el

modelo presenta un mejor ajuste (un 10,1%) en la segunda muestra que en la usada para su construcción. Al no haber perdido capacidad de predicción, se valida el modelo elegido. Este valor de R^2 supone que aproximadamente la mitad de la variación individual de FEVI (el 59% en la muestra de validación) queda explicada por el sencillo modelo seleccionado, que utiliza solo 5 variables basales. Puede argumentarse, con la debida cautela, que es una predicción orientativa o al menos operativamente útil, dada la variabilidad intra e interobservador que presenta la determinación de FEVI por ecocardiografía. Aun así, dada la metodología empleada estos datos deben entenderse como generadores de hipótesis y precisarían una corroboración externa para su potencial puesta en práctica.

Los predictores de mayor Δ FEVI fueron menor FEVI al diagnóstico, la consecución del control del ritmo, el sexo femenino, el antecedente de HTA y haber recibido ablación. No resulta contradictorio hablar de predictores ante variables que no alcancen la significación estadística, caso de la HTA, el sexo femenino y el tratamiento con ablación, puesto que las variables se seleccionan en función de la minimización del error estándar de la predicción.

Desde modelos animales a distintos escenarios de insuficiencia cardíaca con FEVI reducida, el sexo femenino se ha relacionado con un mayor remodelado ventricular^{12,13}. En el artículo de Aimo et al., el sexo se comportó como un predictor independiente de remodelado inverso entre 927 pacientes con diversos grados y etiologías de disfunción ventricular¹⁴. En consonancia, en nuestra serie el sexo femenino se comportó como un predictor de mayor respuesta ventricular.

Aunque los pacientes con HTA tienen una mayor probabilidad de desarrollar FA que los pacientes normotensos, en el modelo se comportó como un factor predictor de recuperación¹⁵. Cabe hipotetizar que esto suceda bien porque permitan una mayor titulación del tratamiento de insuficiencia cardíaca y frenador o porque éste controle una HTA subyacente y ofrezca un beneficio adicional en estos pacientes.

En base a estudios previos resulta razonable que aquellos pacientes en los que se logra el control del ritmo, especialmente en los pacientes con FA, tengan una mayor recuperación de FEVI que aquellos en los que opta por un control de frecuencia^{2,16}. En esta última estrategia no se controla el efecto deletéreo de una contracción ventricular irregular o de la pérdida de la actividad auricular, dado el caso más habitual de la FA¹¹.

En consonancia con los datos provenientes del estudio CASTLE-AF y dado que la mayoría de nuestra muestra tenían como arritmia responsable la FA, la ablación con catéter se incluyó como predictor en el mejor modelo¹⁷.

Limitaciones

Las limitaciones del presente trabajo provienen en su mayoría del diseño observacional y retrospectivo. Desconocemos la adherencia a la presión positiva continua de las vías respiratorias en aquellos pacientes con síndrome de apnea-hipopnea, que pudiera haber constituido un factor modulador. Los datos de la ecocardiografía se tomaron a partir de los informes de múltiples facultativos, sin una recolección común de parámetros. Esto impidió disponer sistemáticamente de variables como el diámetro de la aurícula izquierda, el TAPSE u otro dato

de la función sistólica del ventrículo derecho (típicamente no tan afectada como en el izquierdo en este escenario), por lo que no pudieron incorporarse al modelo final¹⁸. Además, hay que tener en cuenta el lapso temporal en el que se recogieron los pacientes, que condiciona una cierta diferencia en su tratamiento y que explica el bajo porcentaje de pacientes con sacubitrilo-valsartán e iSGLT2. La totalidad de los pacientes con consumo tóxico de alcohol cesaron o redujeron de forma drástica su consumo. Es posible que estos pacientes pudieran presentar un cierto solapamiento con la miocardiopatía tóxica de origen enólico y que al haber cesado su consumo hubieran experimentado una mejoría de la FEVI. De haber sido así, lo esperable es que el antecedente de enolismo hubiera sido uno de los factores predictores de recuperación de FEVI, de tal manera que se controlara su efecto al entrar en el modelo. Con el paso de los años, el número de procedimientos de aislamiento de venas pulmonares no ha dejado de aumentar en nuestro centro, en consonancia con los datos del registro nacional¹⁹, lo que conlleva su expansión a pacientes con un perfil de mayor «riesgo».

La duración del tiempo medio de la arritmia era desconocida en muchos de nuestros pacientes, pero esto es algo implícito en la mayoría de los casos con taquimiocardiopatía ya que la arritmia en sí suele cursar de forma asintomática para estos pacientes. Por otro lado, en trabajos previos como el de Gopinathannair et al.¹¹, la duración de la arritmia no implica una menor posibilidad de recuperación de la FEVI.

A diferencia de otras series como la de Gopinathannair et al.¹¹, nuestra serie de pacientes es joven y con baja incidencia de cardiopatía estructural asociada, por lo que es más representativa de taquimiocardiopatía «pura» y la inclusión de pacientes con taquimiocardiopatía superpuesta o agravada por arritmia ha sido anecdótica.

Hubiera sido interesante incluir en el modelo la variable de existencia de fibrosis miocárdica (objetivada con realce tardío con gadolinio), pero la limitada disponibilidad de la técnica en el marco temporal recogido hubiera retrasado el tratamiento.

En cuanto a la interpretación del modelo, hay que tener en cuenta que parte de la premisa de que va a existir recuperación de la FEVI. Necesariamente es así dada la selección de pacientes, que debían presentar recuperación de FEVI en respuesta al control de la arritmia para poder calificarse de taquimiocardiopatía. Por tanto, habría que tomar con la debida cautela estos datos si se quisieran usar para, efectivamente, ofrecer una aproximación de la recuperación de FEVI que podríamos esperar de un determinado paciente, tal y como se hizo con los pacientes de la muestra 2.

Conclusiones

En la taquimiocardiopatía, que tiene a la FA como su causa más común, el control de la arritmia tiene como resultado una recuperación clínicamente relevante de la FEVI. La FEVI al diagnóstico, el sexo femenino, la HTA, la consecución del control del ritmo y la ablación se comportaron como predictores de la recuperación de FEVI, integrando un modelo con el que estimarla cuantitativamente. Esta estimación puede ser valiosa en el momento de decidir el grado de agresividad

del tratamiento propuesto y en la información previa que se suministra al paciente.

¿Qué se sabe del tema?

- Los factores implicados en la recuperación de la FEVI en la taquimiocardiopatía no están bien estudiados. El objetivo es romper el círculo arritmia/disfunción ventricular.
- Aunque los pacientes más beneficiados del abordaje parecen ser aquellos con una mayor disfunción ventricular, el beneficio clínico obtenido es variable.
- Ciertos subgrupos de pacientes (pacientes con FA y disfunción sistólica grave) presentan un beneficio pronóstico ante un abordaje invasivo de su arritmia, pero el espectro clínico de la taquimiocardiopatía es más amplio.

¿Qué novedades aporta?

- Se trata del primer estudio hasta donde alcanza nuestro conocimiento que pretende establecer una predicción individual de la recuperación de FEVI en estos pacientes.
- A partir de un sencillo modelo que reúne 5 variables, se puede obtener una estimación cuantitativa del efecto del control de la arritmia.
- Esta estimación puede ser valiosa en el momento de decidir actitud intervencionista y en la información previa que se suministra al paciente.

Financiación

No se recibió financiación pública o privada para la consecución del presente artículo.

Consideraciones éticas

El trabajo fue aprobado por el comité ético de la institución. Se siguieron las directrices STROBE. Al ser un estudio observacional retrospectivo, no fue necesario obtener el consentimiento informado de los pacientes. Se siguieron las directrices SAGER. Se tuvo en cuenta el sexo al nacimiento de los pacientes, todos los pacientes se identificaban como cisgénero.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial

No se hizo uso de inteligencia artificial en ninguno de los pasos de la elaboración del manuscrito.

Contribución de los autores

D. Arroyo Moñino, I. Fernández Valenzuela y J. M. Carreño Lineiros contribuyeron a la recolección de datos, a la elaboración de hipótesis y al análisis estadístico. R. Cózar León, P. Bas-

tos Amador y E. Díaz Infante contribuyeron en la elaboración de hipótesis, la redacción del manuscrito y su relación con la bibliografía.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia conocidos o relaciones personales que pudieran haber influido en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fenelon G, Wijins W, Andries E, Brugada P. Tachycardiomyopathy: Mechanisms and clinical implications. *Pacing Clin Electrophysiol.* 1996;19:95–106.
2. Dagres N, Varounis C, Gaspar T, et al. Catheter ablation for atrial fibrillation in patients with left ventricular systolic dysfunction. A systematic review and meta-analysis. *J Card Fail.* 2011;17:964–970.
3. Huizar JF, Ellenbogen KA, Tan AY, Kaszala K. Arrhythmia-Induced Cardiomyopathy: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol.* 2019;73:2328–2344.
4. Martin CA, Lambiase PD. Pathophysiology, diagnosis and treatment of tachycardiomyopathy. *Heart.* 2017;103(19):1543–1552.
5. Prabhu S, Taylor AJ, Costello BT, et al. Catheter Ablation Versus Medical Rate Control in Atrial Fibrillation and Systolic Dysfunction: The CAMERA-MRI Study. *J Am Coll Cardiol.* 2017;70:1949–1961.
6. Phillips E, Levine SA. Auricular fibrillation without other evidence of heart disease: A cause of reversible heart failure. *Am J Med.* 1949;7:478–489.
7. Shinbane JS, Wood MA, Jensen DN, et al. Tachycardia-induced cardiomyopathy: A review of animal models and clinical studies. *J Am Coll Cardiol.* 1997;29:709–715.
8. Howard RJ, Stopps TP, Moe GW, Gotlieb A, Armstrong PW. Recovery from heart failure: Structural and functional analysis in a canine model. *Can J Physiol Pharmacol.* 1988;66:1505–1512.
9. Tomita M, Spinale FG, Crawford FA, Zile MR. Changes in left ventricular volume, mass, and function during the development and regression of supraventricular tachycardia-induced cardiomyopathy. Disparity between recovery of systolic versus diastolic function. *Circulation.* 1991;83:635–644.
10. Raymond-Paquin A, Nattel S, Wakili R, Tadros R. Mechanisms and Clinical Significance of Arrhythmia-Induced Cardiomyopathy. *Can J Cardiol.* 2018;34:1449–1460.
11. Gopinathannair R, Dhawan R, Lakkireddy DR, et al. Predictors of myocardial recovery in arrhythmia-induced cardiomyopathy: A multicenter study. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2021;32:1085–1092.
12. Lilli A, Ricciardi G, Porciani MC, et al. Cardiac resynchronization therapy: Gender related differences in left ventricular reverse remodeling. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2007;30:1349–1355.
13. Du X-J. Gender modulates cardiac phenotype development in genetically modified mice. *Cardiovasc Res.* 2004;63:510–519.
14. Aimo A, Vergaro G, Castiglione V, et al. Effect of Sex on Reverse Remodeling in Chronic Systolic Heart Failure. *JACC Heart Fail.* 2017;5:735–742.
15. Dzeshka MS, Shantsila A, Shantsila E, Lip GYH. Atrial Fibrillation and Hypertension. *Hypertension.* 2017;70:854–861.
16. Prabhu S, Costello BT, Taylor AJ, et al. Regression of diffuse ventricular fibrosis following restoration of sinus rhythm with catheter ablation in patients with atrial fibrillation and systolic dysfunction: A substudy of the CAMERA MRI trial. *JACC Clin Electrophysiol.* 2018;4:999–1007.
17. Marrouche NF, Brachmann J, Andresen D, et al. Catheter ablation for Atrial Fibrillation with Heart Failure. *N Engl J Med.* 2018;378:417–427.
18. Jeong YH, Choi KJ, Song JM, et al. Diagnostic approach and treatment strategy in tachycardia-induced cardiomyopathy. *Clin Cardiol.* 2008;31:172–178.
19. Anguera-Camós I, Cano-Pérez O, Bazán V, et al. Spanish catheter ablation registry. 21st official report of the Heart Rhythm Association of the Spanish Society of Cardiology (2021). *Rev Esp Cardiol.* 2022;75:1029–1039.