

Artículo Original de Investigación

Determinación de Fuerzas Hemodinámicas por Resonancia Magnética Cardíaca como Marcador de Eventos Cardiovasculares.

Determination of hemodynamic forces by Cardiac Magnetic Resonance as a marker of cardiovascular events.

Lucas Gutiérrez^{1 3 4}, Francisco Sánchez², Carlos R Secotaro^{3 4}, Jorge A Cubillos⁴, Emiliano Diez⁵, Fernando A Peñafor^{4 6}.

1 Hospital Español de Mendoza FUESMEN. 2 Doctor en Medicina UN Cuyo. 3 Centro Medico Palmares. 4 Penta Medicina Cardiovascular. 5 IMBECU – UN-Cuyo – CONICET. 6 Hospital Lagomaggiore

Penta Medicina Cardiovascular, Centro Médico Palmares.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido el 27 de Junio de 2025

Aceptado después de revisión

el 4 de Enero de 2026

www.revistafac.org.ar

Los autores declararan no presentar conflictos de interés.

Palabras clave:

Feature Tracking,
Strain Global Longitudinal,
Fuerzas Hemodinámicas.

Keywords:

Feature Tracking,
Global Longitudinal Strain,
Hemodynamic Forces

RESUMEN

Introducción: la evaluación de las fuerzas hemodinámicas (FHD) ventriculares mediante resonancia cardíaca (RC) a partir del Strain Global Longitudinal es una nueva técnica de valoración estructural cardíaca en estudio actual, que permitiría detectar de forma más temprana alteraciones estructurales cardíacas y predecir eventos cardiovasculares.

Objetivo: realizar una valoración de fuerzas hemodinámicas en una población de pacientes sometidos a RC para determinar su capacidad como marcador de eventos cardiovasculares.

Material y Métodos: se realizó un análisis retrospectivo de 137 pacientes sometidos a RC con valoración de FHD y seguimiento entre los años 2015 y 2023, evaluando un evento combinado mayor (ECM) compuesto por incidencia de infarto de miocardio, internación por insuficiencia cardíaca y muerte de origen cardíaco.

Se analizaron FHD Apex-Base y Lateral-Septal, con puntos de corte que maximizaron el riesgo del evento combinado con análisis multivariable de supervivencia con regresión de riesgos proporcionales de Cox para evaluar el índice de riesgo (HR) de FHD.

Resultados: 126 p completaron la evaluación de RC para análisis de FHD. Las FHD ápex-base con punto de corte de 7,5% identificaron qué pacientes desarrollarían ECM, mientras que los demás predictores no fueron significativos, con un área bajo la curva ROC de 0,829 (IC 95% 0,725-0,934) $p < 0,0001$. La presencia de FHD Apex-Base $< 7,5\%$ presentó un valor de Hazard Ratio (HR) ajustado de 4,90 (1,63 – 14,68, $p = 0,005$), mientras que los demás predictores en resonancia magnética cardíaca no fueron significativos.

Conclusiones: la presencia de FHD ápex-base menor de 7.5% se asoció de forma significativa a una mayor incidencia de evento combinado con respecto a los pacientes con un valor mayor de 7.5%.

Determination of hemodynamic forces by Cardiac Magnetic Resonance as a marker of cardiovascular events.

ABSTRACT

Introduction: the assessment of ventricular hemodynamic forces (HDF) by cardiac magnetic resonance (CMR), derived from Global Longitudinal Strain, is an emerging technique for structural cardiac evaluation currently under investigation. This method may allow earlier detection of structural cardiac abnormalities and prediction of cardiovascular events.

Objective: to assess hemodynamic forces in a population of patients undergoing CMR to determine their potential as markers of cardiovascular events.

Materials and Methods: The authors conducted a retrospective analysis of 137 patients who underwent CMR with HDF assessment and clinical follow-up between 2015 and 2023.

The primary endpoint was a composite of acute myocardial infarction, hospitalization for heart failure, and cardiac death. The authors analyzed apex–base and lateral–septal HDF, using cut-off values that maximized the risk of the composite endpoint. A multivariate survival analysis using the Cox proportional hazards regression model was performed to evaluate the hazard ratio (HR) of HDF.

Results: a total of 126 patients completed the CMR evaluation and were included in the HDF analysis. Apex–base HDF with a cut-off value of 7.5% identified which patients would develop the composite event, while other predictors were not significant. The area under the ROC curve was 0.829 (95% CI 0.725–0.934), $p < 0.0001$. The presence of apex–base HDF $< 7.5\%$ showed an adjusted hazard ratio (HR) of 4.90 (1.63–14.68, $p = 0.005$), whereas the other CMR-derived predictors were not significant.

Conclusions: the presence of apex–base HDF below 7.5% was significantly associated with a higher incidence of the composite endpoint compared with patients with HDF values above 7.5%.

ABREVIATURAS:

RC= Resonancia Cardíaca
CSB= Imágenes Cine Sangre Blanca White Blood
FT= Feature Tracking
FHD= Fuerzas Hemodinámicas
RTGd= Realce Tardío de Gadolinio
BCRI= Bloqueo Completo de Rama Izquierda
FEVI= Fracción de Eyección Ventricular izquierda
FEVD= Fracción de Eyección Ventricular Derecha
GLS= Strain Global Longitudinal Ventrículo Izquierdo
GCS= Strain Global Circunferencial Ventrículo Izquierdo
GRS= Strain Global Radial Ventrículo Izquierdo
IC= Insuficiencia Cardíaca
IM= Infarto de Miocardio
ICC= Insuficiencia Cardíaca Congestiva
IC-FEp= Insuficiencia Cardíaca con Fracción de Eyección Preservada
MC= Muerte Cardíaca
RIC= Rango Inter Cuartil
TRC= Terapia de Resincronización miocárdica

INTRODUCCIÓN

La insuficiencia cardíaca (IC) es un síndrome clínico que se caracteriza por la presencia o antecedentes de síntomas y/o signos típicos secundarios a una alteración estructural o funcional del corazón, resultando en una reducción del gasto o un aumento de las presiones de llenado, sea en reposo o en esfuerzo¹.

Existen múltiples etiologías que llevan al desarrollo de esta, y su caracterización es fundamental. Desde la IC con fracción de eyección preservada, hasta la IC con fracción de eyección disminuida, el continuo de este síndrome ofrece múltiples fenotipos, en los cuales el remodelado ventricular se comporta no solo como la adaptación a la injuria, sino también como su consecuencia^{2,3}.

Es por esto por lo que el médico necesita disponer de herramientas que permitan una valoración adecuada para la toma de decisiones. Uno de los aspectos claves para ello, es el impacto del compromiso estructural miocárdico y sus consecuencias en la función ventricular, en la calidad de vida y en la supervivencia de los pacientes cardiovasculares.

En la actualidad se dispone de herramientas de análisis funcional y estructural ventricular que anticipan los cambios en la deformación de las fibras. Ejemplos de estas son la deformación miocárdica medida mediante ecocardiografía transtorácica y/o la resonancia cardíaca (RC). También se puede estimar el inicio de la contracción mecánica mediante la evaluación de la sincronía miocárdica mecánica con análisis de Fase con SPECT gatillado en los estudios de perfusión miocárdica. Estos elementos han demostrado generar valor incremental pronóstico del método que acompañan, y por consiguiente pueden objetivar su impacto en la función miocárdica regional y global^{4,5,6}. Estudios recientes han introducido la evaluación de las fuerzas hemodinámicas del ventrículo izquierdo (FHD) como un método prometedor para la evaluación mecánica y no invasiva de la interacción entre el ventrículo izquierdo y el movimiento sanguíneo intracardiaco, lo que podría ser valioso en el estudio de diversas miocardiopatías. Las FHD evaluadas con RC permite contemplar la íntima interacción del pool sanguíneo con el tejido endocárdico, analizadas mediante el movimiento miocárdico y representado por la velocidad del movimiento de paredes del ventrículo izquierdo reconstruido con Strain Global longitudinal (GLS) miocárdico y la cantidad de sangre que atraviesa las válvulas (aplicando el principio de conservación de la masa). Los gradientes promedio de presión intraventricular pueden estimarse mediante un modelo matemático que, aprovechando el equilibrio del momento, integra la geometría del ventrículo izquierdo y el movimiento de la pared con las áreas de los orificios de las válvulas aórtica y mitral. Proyectadas en direcciones específicas dentro del ventrículo izquierdo, estas FHD pueden descomponerse en componentes longitudinales y transversales. Este concepto de estimación de la mecánica funcional miocárdica está validado mediante secuencias de contraste de fase 3D o 4DFlow, y tiene el potencial de facilitar la determinación de gradientes intraventriculares, sin necesidad de someter a los pacientes a procedimientos invasivos⁷. Es por esto por lo que en este trabajo se plantea la valoración de fuerzas hemodinámicas en una población de pacientes sometidos a RC, para determinar su capacidad y utilidad como marcador pronóstico cardiovascular.

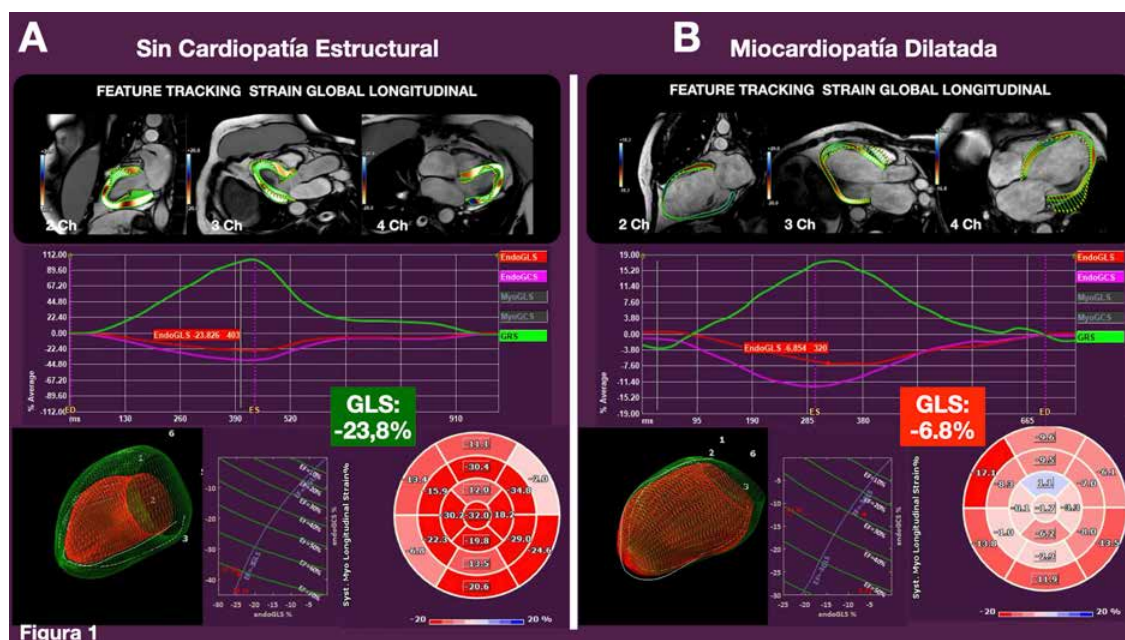


FIGURA 1.

Valoración del Strain miocárdico mediante Feature Tracking en pacientes con y sin patología estructural.

En la figura se presentan dos escenarios contrastantes para ilustrar el GLS: un paciente sin patología estructural (A) y otro con miocardiopatía dilatada (B). En la sección superior, se observa la delimitación endocárdica realizada en secuencias cine de sangre blanca para su estimación mediante FT en vistas de 2, 3 y 4 cámaras. En la sección central se muestran los resultados gráficos globales del Strain mediante curvas: la curva roja representa el GLS, la morada el GCS y la verde el GRS.

Finalmente, la parte inferior de la gráfica: • De izquierda a derecha: Un modelo 3D de la estructura del ventrículo izquierdo. • Un gráfico que relaciona el GLS (%) con el GCS (%) en conjunto con la FEVI, lo que permite una rápida interpretación de la relación deformación-función, de gran utilidad para el seguimiento evolutivo. • Un mapa polar para valoración regional del GLS por segmentos

GLS: Strain Global longitudinal; GCS: Strain Global Circunferencial; GRS: Strain Global Radial; FEVI: Fracción de Eyección del Ventrículo Izquierdo.

MÉTODOS

Se realizó un análisis en forma retrospectiva de pacientes sometidos a RC convencional por diversas indicaciones, en una institución de diagnóstico ambulatorio. El seguimiento de los pacientes fue mediante entrevista post estudio, análisis de historia clínica digital y telefónico entre los años 2015 y 2023. Se analizaron en el seguimiento eventos cardiovasculares mayores como Infarto de miocardio (IM), internación por insuficiencia cardiaca (IIC) y muerte cardiovascular (MC), como así también el punto final combinado de IM+IIC+MC.

Adquisición de imagen

Se utilizaron resonadores Phillips Achieva y Prodiva de 1,5 T para la valoración anatómica y la cuantificación de volúmenes. Las imágenes adquiridas fueron sincronizadas mediante el ECG de registro permanente y coordinación activa de apneas. Las imágenes de realce tardío con gadolinio (RTGd) se obtuvieron aproximadamente 10 minutos post administración del contraste.

Análisis de Imagen

Se tomaron los siguientes parámetros para ser analizados, volumen de fin de diástole (VFD), volumen de fin de sístole (VFS), fracción de eyección ventricular izquierda (FEVI), fracción de eyección ventricular derecha (FEVD)

mediante imágenes CSB. Las imágenes de RTGd se cuantificaron en forma automática con una Intensidad de Señal (IS) >6 DS de la media sobre el miocardio siguiendo el modelo de los 17 segmentos de AHA, excluyendo al ápex.

Análisis de Strain y FHD mediante Feature Tracking

Mediante la técnica de Feature Tracking (FT) se definieron los bordes endocárdicos en frame tele sistólico y tele diastólico. Luego por medio de seguimiento continuo con el software de post procesamiento se calculó el acortamiento del miocardio en el ciclo cardíaco (Strain miocárdico) estimando así el en eje largo, el (GCS) y el (GRS) en eje corto. Se estimó el desplazamiento interno (IWD), parámetro para valorar la función ventricular regional mediante FT, valorando el movimiento parietal hacia adentro de la cavidad y la contractilidad^{6,8} (Figura 1).

Análisis de las Fuerzas Hemodinámicas Ventriculares:

Obtenidas las mediciones del GLS en 2, 3 y 4 cámaras mediante la herramienta HDF add-on del software se procede a dibujar manualmente las dimensiones del anillo aórtico en 3 cámaras y del anillo mitral en 4 cámaras, calculando automáticamente el área de ingreso y egreso del pool sanguíneo al ventrículo izquierdo.

Por medio de este proceso se determinan diferentes parámetros de medición como los de amplitud que contemplan

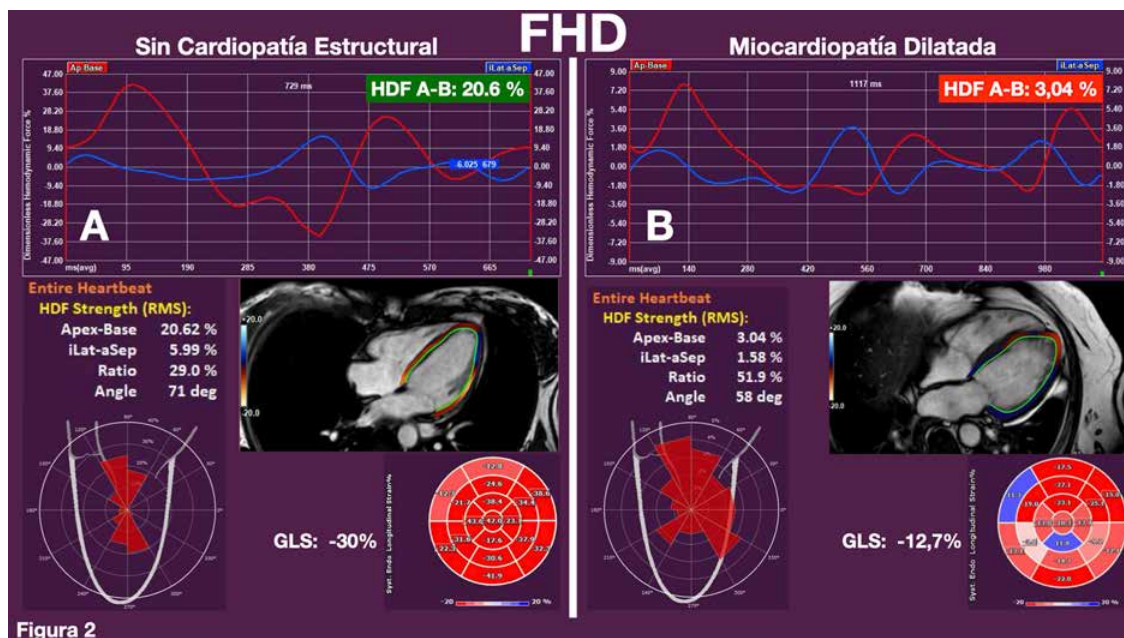


FIGURA 2.

Valoración de las fuerzas hemodinámicas (FHD) en pacientes con y sin patología estructural

Valoración de las fuerzas hemodinámicas (FHD) en un paciente sin patología estructural (A) y otro con miocardiopatía dilatada (B). En ambos casos, se muestran gráficos que representan la evolución de las FHD a lo largo del ciclo cardíaco, tanto en la dirección ápex-base (rojo) como lateral-septal (azul). Análisis cuantitativo y visualización: se proporcionan variables cuantitativas de las FHD junto con un mapa polar (a la izquierda de cada caso). Este mapa polar muestra la intensidad ponderada de las fuerzas y su orientación en grados y dimensiones, esquematizando el ventrículo izquierdo. Se observa una diferencia notable entre los dos ejemplos. En el paciente con miocardiopatía dilatada (B), la representación de las FHD es menos lineal con respecto al eje de 90°, lo que indica una disminución tanto en las FHD ápex-base como lateral-septal. Información Complementaria: la figura también incluye capturas de pantalla de imágenes CSB en la vista de 4 cámaras. Se muestra la valoración del Strain miocárdico mediante la técnica de FT del GLS y sus resultados en el mapa polar para ambos casos. Esta información, junto con las áreas valvulares aórtica y mitral, permite el cálculo de las FHD mediante RC

FHD: fuerzas hemodinámicas ápex a base; FHD lateral a septal: fuerzas hemodinámicas septal a lateral; CSB: Imágenes Cine Sangre Blanca; FT: Feature Tracking; GLS: Strain Global longitudinal; RC: Resonancia Cardíaca.

las tres fuerzas hemodinámicas: a saber, una fuerza que va de ápex a base, una fuerza que va de pared lateral a septal, y una fuerza que va de pared inferior a anterior, aunque esta última se anula por lo que no resultan expresadas.

Simultáneamente se miden parámetros de temporalidad, que son medidas asociadas a los eventos del ciclo cardíaco, derivado de las fuerzas hemodinámicas, y por último parámetros de orientación, medidas asociadas con la dirección que toma el vector de fuerzas del ventrículo izquierdo. Proveen una comparación entre las fuerzas longitudinales (ápex – base) y transversales (septal – lateral // anterior - inferior) (Figura 2 Central)⁹.

La FHD ápex a base, lateral a septal son reportadas como medias cuantitativas corregidas por el volumen del VI, ajustados a la fuerza de gravedad y densidad de fluido sanguíneo. Estos parámetros se presentan como porcentajes, permitiendo la comparación entre sujetos^{9,10}. Pueden ser apreciados en tiempo real en forma dinámica, según se selecciona la fase del ciclo cardíaco de interés mediante la interfase del software con un mapa polar de intensidad ponderada, que va reflejando la orientación del vector en grados y su respectiva orientación respecto de una figura esquematizada superpuesta del ventrículo izquierdo.

Análisis Estadístico

Los datos analizados de variables cuantitativas se presentan como media y desvío estándar para aquellas con distribución normal, y mediana con rangos Inter cuartiles (RIC) para aquella con distribución no normal. Las diferencias entre grupos fueron analizadas mediante t-test o Mann-Whitney para variables continuas y χ^2 o test exacto de Fisher para variables categóricas. Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para examinar las asociaciones entre parámetros continuos. Se realizaron análisis multivariable de supervivencia con regresión de riesgos proporcionales de Cox para evaluar el índice de riesgo (HR) y el intervalo de confianza del 95% (IC95%). Se estimaron las curvas de Kaplan-Meier para las variables FHD ápex-base y FHD lateral a septal. Se realizó el análisis estadístico con software comerciales Wizard Pro-2 Mac OS, SPSS y de licencia abierta Jamovi.

RESULTADOS

Población de estudio

Un total de 137 pacientes fueron sometidos a RC durante el periodo de seguimiento contemplado entre los años 2015 y 2023, de los cuales 126 pudieron completar la reevaluación

TABLA 1.

Características de la Población en estudio.

Características de la Población	Total de pacientes (N° 126)
Edad (años)	53 (±15,75)
Sexo Masculino (%)	78 (62)
Hipertensión arterial (%)	73 (58)
Tabaquismo (%)	13 (10,3)
Diabetes Mellitus (%)	16 (12,7)
Dislipidemia (%)	46 (36,5)
ATC previa (%)	7 (5,6%)
Parámetros funcionales en resonancia magnética	
FEVI (%)	53,8 (±14,9)
FEVD (%)	49,5 (±10,8)
Monto % de realce tardío con gadolinio	3,9 (±7,8)
Strain Longitudinal Global de VI	-19,3 (±6,4)
Strain Longitudinal Global de VD	-31,8 (±38,5)
Parámetros de fuerzas hemodinámicas mediante RC	
FHD ápex a base	16,9 (±10)
FHD lateral a septal	3 (±1,38)
FHD ángulo vector	73,1 (±4,5)
FHD AB/SL	20,7 (±14,3)
Seguimiento clínico evolutivo	
Muerte no cardíaca (%)	2 (1,6)
Internación por IC (%)	15 (11,9)
Infarto agudo de miocardio (%)	3 (2,4)
Muerte cardíaca (%)	9 (7,1)
Punto final combinado (MC.IIC. IM) (%)	24 (19)

ATC: angioplastia transcatéter coronaria; FEVD: fracción de eyección de ventrículo derecho; FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo. FHD: fuerzas hemodinámicas. IC: insuficiencia cardíaca; MC: muerte cardíaca; IIC: Internación por insuficiencia cardíaca; IM: infarto de miocardio; VD: ventrículo derecho; VI ventrículo izquierdo.

de RC y técnica de Feature Tracking para análisis de FHD. Las características clínicas y de RC principales se resumen en la *tabla 1*. La media de edad de los pacientes fue de 53,7 años (±15,7), de los cuales 78 (62%) eran de sexo masculino. El evento combinado preestablecido tuvo una incidencia del 19% (n=24). Las FHD ápex a base presentaron valor de corte de 7,5% para identificar pacientes que desarrollarían un evento mayor, con un área bajo la curva ROC de 0,829 (IC 95% 0,725-0,934) $p<0,0001$, una sensibilidad de 91% y una especificidad del 59% (*Figura 3 A*). El 66% (N=14) de los pacientes con FHD ápex-base <7,5% presentaron el evento combinado, mientras que lo padecieron solo el 9,5% (N=10) con FHD ápex-base >7,5% (*Tabla 2*). La mediana de tiempo para la aparición de un evento mayor fue de 104 meses para el grupo con FHD ápex-base, frente a 89 meses en el grupo de FHD deprimidas (*Figura 3 B*).

TABLA 2.

Características clínicas y de resonancia cardíaca según grupos

Variable	FHD ápex base >7,5% (N° 105)	FHD ápex base <7,5 (N°21)	Significación
Edad	54 (RIC 42,7-66,3)	62 (RIC 55-67)	P=0,03
BCRI (%)	4,8	28,6	P<0,01
BCRD (%)	4,8	0	P=0,31
Hipertensión arterial	62,8	33,3	P=0,01
Tabaquismo	7,6	23,8	P=0,03
Dislipidemia	35,2	42,8	P=0,51
Diabetes Mellitus	9,5	28,6	P=0,02
FEVD	52,5 (49-56)	36 (26,7-48)	P<0,01
FEVI	60 (54-65)	28 (21-41)	P<0,01
Monto porcentual RTGd	0 (0-3)	5 (0-19,3)	P=0,01
GLS VI	-21,8 (24-19,1)	-9,6 (11,7 - 7,9)	P<0,01
GLS VD	-29,7 (33,8-26,6)	-22,8 (29,9-17,1)	P<0,01
FHD ápex base	16,4 (12,6 - 22,4)	6,2 (4,5-6,5)	P<0,01
Evento combinado	10 (9,52%)	14 (66%)	P<0,01

BCRI: bloqueo completo de rama izquierda. BCRD: bloqueo completo de rama derecha. FEVD: fracción de eyección de ventrículo derecho. FEVI: fracción de eyección de ventrículo izquierdo. RTG: realce tardío con gadolinio. FHD: fuerzas hemodinámicas. GLS: Strain longitudinal global. VI ventrículo izquierdo. VD: ventrículo derecho.

Se realizó también análisis de curvas ROC de variables de FHD como lateral-septal y ángulo vector. Las dos variables presentaron curvas ROC significativas, teniendo las FHD lateral septal un área bajo la curva de 0,787 (IC 95% 0,680-0,893), $p<0,0001$, con un valor de corte de 2,44%; y las FHD ángulo-vector un área bajo la curva de 0,720 (IC 95% 0,593-0,846) $p=0,001$, valor de corte 69. Dada la leve superioridad de las FHD ápex-base para clasificar a los pacientes se decidió continuar con esta como la variable de comparación en el estudio.

En la *tabla 2* pueden observarse las diferencias significativas que presentaban los pacientes tanto en antecedentes clínicos, como en parámetros de la RC.

Se realizó un análisis multivariado para conocer el valor de las fuerzas hemodinámicas frente a antecedentes clínicos y parámetros de RC previamente validados. Dado el bajo número de eventos, se calculó la utilización de una variable cada 10 pacientes que presentaron el evento, por lo que se comparó frente a otras dos variables solamente. En un análisis multivariado que incluyó los factores de riesgo clínicos descriptos en la bibliografía para el desarrollo de eventos mayores, la presencia de FHD ápex-base menor 7,5% presentó un valor de Hazard Ratio ajustado de 6,49

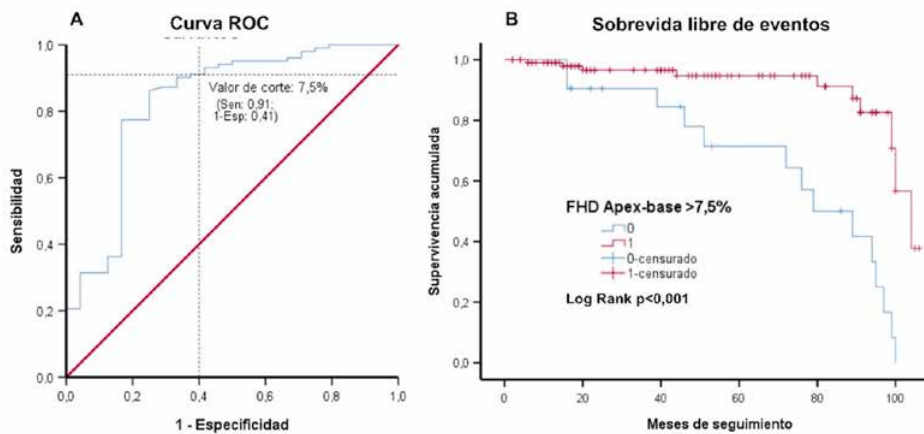


FIGURA 3.

Análisis para la Determinación del Punto de Corte de FHD ápex-base que optimiza la predicción de riesgo e incidencia de un evento combinado.

A. Curva ROC: se utilizó para determinar la sensibilidad y especificidad de un punto de corte del 7,5% de FHD ápex-base, seleccionado por maximizar la incidencia del evento combinado.

B. Análisis de supervivencia de Kaplan-Meier (Log-Rank): permitió objetivar la evolución de dos grupos de población discriminados según un punto de corte de FHD ápex-base superior al 7,5%.

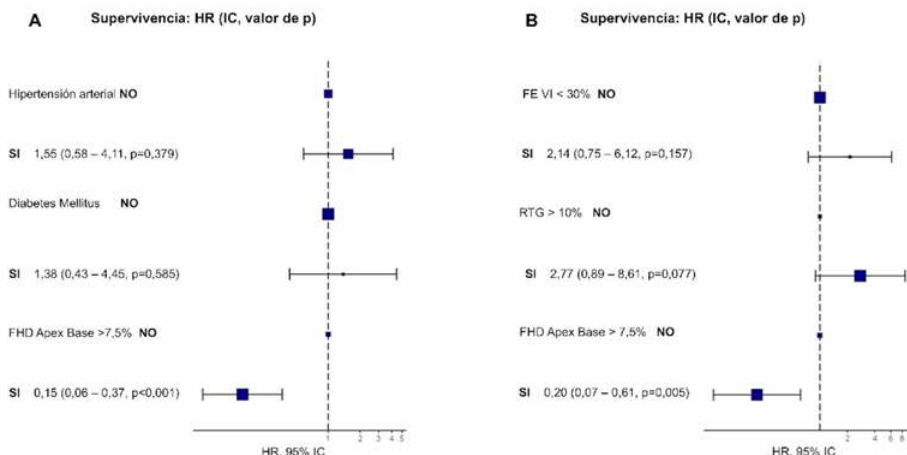


FIGURA 4.

Análisis multivariado de predictores clínicos y de RC para el desarrollo de evento combinado.

A. Impacto de las FHD – base superiores a 7,5% en relación a factores de riesgo cardiovascular clásicos. **B.** Impacto de las FHD ápex – base superiores a 7,5% en relación a marcadores de riesgo reconocidos en la literatura con disfunción ventricular severa (FEVI <30%) y carga necrótica significativa (RTG 10% del ventrículo izquierdo).

HR: Hazzard ratio. IC: Intervalo de confianza.

(IC 95% 2,73–15,45, $p<0,001$) mientras que los demás predictores no fueron significativos (Figura 4 A).

Otro análisis multivariado que incluyó las principales determinaciones de la RC según un corte de riesgo determinado por la bibliografía (FEVI <30% y RTG >10%), mostró que la presencia de FHD ápex-base menor 7,5% presentó un valor de Hazard Ratio ajustado de 4,90 (IC 95% 1,69 – 14,68, $p=0,005$), mientras que los demás predictores no fueron significativos (Figura 4 B).

DISCUSIÓN

En esta población analizada de manera retrospectiva, se observa que las FHD presentaron una capacidad estadísticamente significativa a la hora de separar pacientes con aparición de un evento adverso combinado en comparación con los factores de riesgo clínicos convencionales, y con determinaciones valoradas por RC como son la FEVI y el RTGd.

La valoración cardiovascular está en constante evolución, trascendiendo la FEVI como único parámetro de riesgo. La incorporación del análisis de fluidos dinámicos, como los vórtices en la mecánica del flujo, ofrece una nueva perspectiva sobre la compleja interacción hemodinámica y

la carga de enfermedad cardiovascular. Este enfoque conceptualiza la relación intrínseca entre el tejido miocárdico y el flujo sanguíneo con las consecuencias tempranas del remodelado ventricular^{11,12}. La introducción de la valoración de las FHD en la práctica clínica por RC podría suponer un avance en la valoración de pacientes con insuficiencia cardíaca¹³. La novedad de este modelo radica en su capacidad para estimar las características principales del vector de fuerza hemodinámica a partir de la dinámica del tejido endocárdico, sin requerir la medición directa de la velocidad del flujo sanguíneo dentro del ventrículo izquierdo⁷.

Este enfoque podría ser aplicable en el seguimiento de pacientes con Insuficiencia Cardíaca con Fracción de Eyección Preservada (IC-FEp), o aquellos con marcado compromiso de la arquitectura del ventrículo izquierdo, disincronico y con severo deterioro de la FEVI, debido a su capacidad para evaluar la dinámica cardíaca, en la identificación de patrones de disincronía y la respuesta a la terapia de Resincronización Miocárdica (TRC)^{2,14}.

En pacientes con insuficiencia cardíaca avanzada y bloqueo de rama izquierda (BCRI), Eriksson J. et al. analizaron el impacto de la disincronía cardíaca mediante FHD. Sus hallazgos revelaron diferencias significativas en los patro-

nes de llenado y distribución del flujo entre pacientes con BCRI y disincronía, lo que sugiere que las FHD podrían ser útiles para predecir la respuesta a la TRC¹⁵. El autor destaca la alteración sustancial de los patrones sistólicos y diastólicos, tanto en cantidad como en calidad. El retraso y la activación asincrónica mecánica, a menudo acompañados de un QRS ensanchado, generan un aumento en las FHD transversales (FHD lateral - septal), lo que resulta en la disipación de la energía generada. La alineación generada por la TRC, medida por FHD, es un marcador importante de respuesta al tratamiento¹⁵.

Es sabido en la actualidad que la RC se ha consolidado como una herramienta invaluable en la evaluación integral de la función cardíaca. Sus ventajas incluyen la caracterización tisular detallada, la alta resolución espacial y la evaluación funcional exhaustiva. La RC permite categorizar las causas de la disfunción ventricular, diferenciarla de otras afecciones como trastornos infiltrativos y pericárdicos, y proporcionar información pronóstica mediante técnicas como el realce tardío con gadolinio y el mapeo paramétrico^{16,17}. En este sentido las FHD muestran una correlación significativa con la extensión del RTGd, especialmente las FHD ápex-base y lateral-septal, lo que sugiere una conexión directa entre las FHD y la fibrosis o remodelado miocárdico. Este hallazgo se respalda en el reciente trabajo publicado por Shao et al, donde se evaluó a 63 pacientes con diabetes tipo 2 y 50 voluntarios sanos. En dicho estudio, a pesar de que la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) y el strain miocárdico no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, se observó una alteración notable de las FHD en los pacientes diabéticos. Esto sugiere que las FHD podrían servir como un marcador temprano y sensible de disfunción miocárdica subclínica, incluso en ausencia de alteraciones detectables por los parámetros convencionales¹⁸.

Los hallazgos de este trabajo, al igual que el trabajo de Shao et al, estarían en línea con la idea que las FHD podrían proporcionar información funcional más precisa y sensible a cambios, en comparación con los parámetros convencionales de la RC.

Limitaciones

Este registro contó con la observación de una población ambulatoria de carácter general y derivada para diferentes evaluaciones, pudiendo presentar sesgos de selección en la población. La tasa de eventos en relación con la muestra puede ser pequeña, y será un desafío continuar registrando datos para incrementar la misma para análisis a futuro.

CONCLUSIONES

En el presente estudio, la presencia de FHD ápex-base menor de 7.5% se asoció de forma significativa a una mayor incidencia del evento combinado con respecto a los pacientes con un valor mayor de 7.5%.

El análisis funcional de FHD podría realzar el valor de la RC convencional, proporcionando un nuevo instrumento

para el control y seguimiento funcional de pacientes con sospecha o impacto de enfermedad cardiovascular.

Se necesita realizar un mayor número de estudios, con poblaciones seleccionadas y seguimiento longitudinal, para determinar el verdadero poder pronóstico y diagnóstico de esta novedosa técnica.

BIBLIOGRAFIA

1. Fernández A, Thierer J, Fairman E, et al. Consenso de Insuficiencia Cardíaca. *Rev Arg Cardiol* 2023; 91: 1 - 80.
2. Maydana M, Nasca P, Colque R, et al. Recomendaciones de la Federación Argentina de Cardiología para el manejo de pacientes con insuficiencia cardíaca con fracción de eyección preservada. *Rev Fed Arg Cardiol* 2024; 53 (Supl. 2): 3 - 21.
3. Filomena D, Cimino S, Monosilio S, et al. Impact of intraventricular haemodynamic forces misalignment on left ventricular remodelling after myocardial infarction. *ESC Heart Fail* 2022; 9: 496 - 505.
4. Gutiérrez L, Peñafof F. Nuevas herramientas diagnósticas en insuficiencia cardíaca: análisis de fase mediante SPECT-Gatillado para evaluación de sincronía miocárdica. *Rev Fed Arg Cardiol* 2013; 42: 102 - 112.
5. Buss SJ, Breuninger K, Lehrke S, et al. Assessment of myocardial deformation with cardiac magnetic resonance strain imaging improves risk stratification in patients with dilated cardiomyopathy. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015; 16: 307 - 315.
6. Scatteia A, Baritussio A, Bucciarelli-Ducci C. Strain imaging using cardiac magnetic resonance. *Heart Fail Rev* 2017; 22: 465 - 476.
7. Pedrizzetti G. On the computation of hemodynamic forces in the heart chambers. *J Biomech* 2019; 95: 109323.
8. Hegeman R, McManus S, Toth A, et al. Reference Values for Inward Displacement in the Normal Left Ventricle: A Novel Method of Regional Left Ventricular Function Assessment. *J Cardiovasc Dev Dis* 2023; 10: 474.
9. Valleslonga F, Airale L, Tonti G, et al. Introduction to Hemodynamic Forces Analysis: Moving Into the New Frontier of Cardiac Deformation Analysis. *J Am Heart Assoc* 2021; 10: e023417.
10. Laenens D, van der Bijl P, Stassen J, et al. Introduction to hemodynamic forces by echocardiography. *Int J Cardiol* 2023; 370: 442 - 444.
11. Pedrizzetti G, La Canna G, Alfieri O, et al. The vortex--an early predictor of cardiovascular outcome? *Nat Rev Cardiol* 2014; 11: 545 - 553.
12. Pedrizzetti G, Sengupta PP. Vortex imaging: new information gain from tracking cardiac energy loss. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015; 16: 719 - 720.
13. Lapinskas T, Pedrizzetti G, Stoiber L, et al. The Intraventricular Hemodynamic Forces Estimated Using Routine CMR Cine Images: A New Marker of the Failing Heart. *JACC Cardiovasc Imaging* 2019; 12: 377 - 379.
14. Vos JL, Raafs AG, Henkens M, et al. CMR-derived left ventricular intraventricular pressure gradients identify different patterns associated with prognosis in dilated cardiomyopathy. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2023; 24: 1231 - 1240.
15. Eriksson J, Zajac J, Alehagen U, et al. Left ventricular hemodynamic forces as a marker of mechanical dyssynchrony in heart failure patients with left bundle branch block. *Sci Rep* 2017; 7: 2971.
16. Mahrholdt H, Wagner A, Holly TA, et al. Reproducibility of chronic infarct size measurement by contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Circulation* 2002; 106: 2322 - 2327.
17. Messroghli DR, Moon JC, Ferreira VM, et al. Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance mapping of T1, T2, T2* and extracellular volume: A consensus statement by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) endorsed by the European Association for Cardiovascular Imaging (EACVI). *J Cardiovasc Magn Reson* 2017; 19: 75.
18. Shao G, Cao Y, Cui Y, et al. Impaired hemodynamic forces assessed by routine CMR and its determinants in different duration T2DM patients with normal LV function and myocardial strain. *Front Cardiovasc Med* 2025; 12: 1460094.