

# Reserva contráctil por fracción de eyección sola, o con elastancia. ¿Cuál es el mejor predictor de eventos luego de un Eco Estrés sin isquemia?

## *Contractile Reserve by Left Ventricular Ejection Fraction Alone, o Considering Elastance. ¿Which is the Best Predictor of Events After a Stress Echo Without Ischemia?*

DIEGO M. LOWENSTEIN HABER<sup>1, MTSAC</sup>, ROSINA ARBUCCI<sup>1, MTSAC</sup>, PABLO MERLO<sup>1, MTSAC</sup>, LILIANA MARTINEZ<sup>1</sup>, NATALIO GASTALDELLO<sup>1</sup>, ARIEL K. SAAD<sup>1, MTSAC</sup>, GUSTAVO F. ZAMBRANA<sup>1</sup>, JORGE A. LOWENSTEIN<sup>1, MTSAC</sup>

### RESUMEN

**Introducción:** El comportamiento de la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) durante el ejercicio se utiliza para medir la reserva contráctil (RC). La RC medida por elastancia podría tener mayor valor pronóstico.

**Objetivo:** Establecer si la medición de la RC por elastancia añade valor pronóstico a largo plazo en relación al comportamiento aislado de la FEVI en pacientes con un Eco Estrés sin isquemia miocárdica.

**Material y métodos:** Estudio retrospectivo, realizado en 904 pacientes con Eco Estrés con ejercicio sin isquemia. Se valoró la RC por FEVI y por elastancia. Se dividieron en 2 grupos: Grupo 1: RC por FEVI presente (a su vez este grupo se dividió en 2 subgrupos: Grupo 1A, RC con elastancia presente y Grupo 1B: ausencia de RC por elastancia), y Grupo 2: pacientes con ausencia de RC por FEVI. El seguimiento fue de  $17,7 \pm 5,4$  meses. Se consideraron como eventos: muerte, infarto agudo de miocardio (IAM), accidente cerebrovascular (ACV) y/o internación de causa cardiovascular.

**Resultados:** Del total del Grupo 1 (536 pacientes), 200 (37,3%) se incluyeron en el Grupo 1A y 336 (62,7%) en el Grupo 1B. En el Grupo 2, se incluyeron 368 pacientes. En el seguimiento, los pacientes del Grupo 2 tuvieron más eventos, 30 (8,1%) vs. 22 (2,6%) (HR 3,14, IC95% 1,95-5,9, log rank test  $p < 0,001$ ). Dentro del G1, los pacientes del Grupo 1B presentaron más eventos: 18 (5,3%) vs 4 eventos (2%) (HR 2,46 IC95% 1,06-7,3, log rank test  $p < 0,05$ ). En el modelo de regresión, la elastancia fue la única variable predictora de eventos (HR 3,2, IC95% 1,83-5,6,  $p < 0,001$ ).

**Conclusiones:** En el Eco Estrés ejercicio negativo para isquemia, el comportamiento de la RC evaluada por elastancia permitió identificar un subgrupo de peor pronóstico a largo plazo en pacientes con comportamiento normal de la FEVI.

**Palabras clave:** Ecocardiografía de Estrés - Contracción Miocárdica - Función Ventricular Izquierda/fisiología

### ABSTRACT

**Background:** The behavior of left ventricular ejection fraction (LVEF) during exercise is used to measure contractile reserve (CR). CR measured by elastance could have greater prognostic value.

**Objective:** To establish whether the measurement of CR by elastance adds long-term prognostic value to CR measured by LVEF in patients with a Stress Echo without myocardial ischemia.

**Material and methods:** Retrospective study, carried out in 904 patients with an exercise Stress Echo without ischemia. CR was assessed by LVEF and by elastance. Patients were divided into 2 groups: Group 1: presence of CR by LVEF (in turn this group was divided into 2 subgroups: Group 1A, CR with elastance present, and Group 1B: absence of CR by elastance), and Group 2: patients with absence of CR by LVEF. The follow-up was  $17,7 \pm 5,4$  months. Outcomes considered were death, acute myocardial infarction (AMI), stroke, and cardiovascular hospitalization.

**Results:** 536 patients were included in Group 1, 200 (37,3 %) in Group 1A and 336 (62,7%) in Group 1B. In Group 2, 368 patients were included. At follow-up, patients in Group 2 had more events, 30 (8.1%) vs. 22 (2.6%) (HR 3.14, 95% CI 1.95-5.9, log rank test  $p < 0.001$ ). Within G1, patients in Group 1B presented more events: 18(5.3%) vs 4 (2%) (HR 2.46 CI 95% 1.06-7.3, log rank test  $p < 0.05$ ). In the regression model, CR assessed by LVEF and additionally by elastance was the only significant outcome predictor (HR 3.2, 95% CI 1.83-5.6,  $p < 0.001$ ).

**Conclusions:** In an exercise Stress Echo negative for ischemia, CR behavior evaluated by elastance allowed us to identify a subgroup with a worse long-term prognosis in patients with normal LVEF response.

**Key words:** Echocardiography, Stress - Myocardial Contraction - Ventricular Function, Left / physiology

REV ARGENT CARDIOL 2022;90:346-352. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v90.i5.20560>

Ver artículo relacionado Rev Argent Cardiol 2022;90:335-337. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v90.i5.20563>

Recibido: 12/05/2022 - Aceptado: 24/08/2022

Dirección para separatas: Diego Maximiliano Lowenstein Haber. Humboldt 2045 CP 1414 CABA. E-mail: lowediego@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

El concepto de Reserva Contráctil (RC), definida como la capacidad del miocardio para incrementar su función de bomba ante un estímulo inotrópico, es universalmente conocido como la llave pronóstica de múltiples patologías. Para su valoración, uno de los parámetros más comúnmente utilizado es el comportamiento de la fracción de eyección ventricular izquierda (FEVI) durante el ejercicio.

La medición de la FEVI es ampliamente empleada para diagnosticar enfermedades, determinar su gravedad, establecer pronóstico y guiar la terapéutica. Sin embargo, su utilidad en la valoración de la función sistólica resulta limitada, no sólo por dificultades inherentes a la calidad de las imágenes o a la geometría ventricular, sino porque, además, depende de varios factores adicionales a la contractilidad, como la pre y la poscarga, la frecuencia cardíaca, y la sincronía ventricular. Dichas variables se modifican sustancialmente durante el ejercicio, lo cual limita la capacidad de la FEVI como subrogante específico de la función contráctil. En muchas ocasiones, la FEVI puede incrementarse con el esfuerzo, aunque la contractilidad disminuya, debido, por ejemplo, al desarrollo de insuficiencia mitral significativa con la consiguiente disminución de la poscarga. De manera inversa, la FEVI puede disminuir en presencia de contractilidad aumentada, en forma secundaria a una exagerada respuesta hipertensiva con aumento de la poscarga, o por el aumento de la frecuencia cardíaca con disminución del llenado ventricular, especialmente en ventrículos pequeños y rígidos, o en presencia de disincronía cuyo ejemplo típico es la aparición de bloqueo de rama izquierda durante el esfuerzo. De todos ellos, el factor más importante es la poscarga ventricular. (1)

Dentro de los trabajos de referencia en el estudio de la función sistólica, podemos citar al grupo de Suga y cols, que desde 1969 (2) han estudiado la contracción ventricular y el rendimiento del ventrículo izquierdo en corazones caninos a través de la medición instantánea de la relación entre presión/volumen a lo largo del ciclo cardíaco. Sus hallazgos demostraron que la curva presión/volumen es independiente de las condiciones de carga, aunque varía con los cambios en la contractilidad, (3) constituyendo uno de los parámetros más representativos en la evaluación de la función sistólica ventricular. Este índice, denominado *Elastancia Ventricular* (elastancia), se define como la relación entre la presión arterial sistólica y el volumen de fin de sístole del ventrículo izquierdo. El mismo cuenta con las ventajas de tener mayor sensibilidad que otros parámetros y de ser capaz de evaluar de manera global la función sistólica, tanto en reposo como en esfuerzo. (4-6) Según lo observado por el grupo de Picano y cols, su comportamiento con el ejercicio puede tener 3 respuestas: ascendente normal (valores de esfuerzo que duplican el basal, y se relacionan con altos valores de

presión arterial sistólica con disminución del volumen de fin de sístole), bifásica anormal (leve incremento inicial seguido de un retorno a la línea de base) y plana anormal (tanto la presión como el volumen no presentan cambios durante el esfuerzo). (7)

Teniendo en cuenta los hallazgos de estas investigaciones previas, podemos inferir que la evaluación de la RC por elastancia durante el apremio con ejercicio, podría tener un valor pronóstico superior a la medición aislada de la reserva por FEVI en pacientes con eco estrés negativo para isquemia (8, 9), e incluso en fases tempranas de miocardiopatías.

## Objetivo

El objetivo del presente trabajo fue establecer si la medición de la RC por elastancia añade valor pronóstico a largo plazo en relación con el comportamiento aislado de la FEVI en pacientes con un Eco Estrés sin isquemia miocárdica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Población

En un estudio retrospectivo, descriptivo, comparativo, unicéntrico, se incluyeron 904 pacientes, estudiados en nuestro centro, con un Eco Estrés con apremio de ejercicio en un período de 2 años (enero de 2018 a diciembre de 2019). La edad promedio de los pacientes fue de  $61,92 \pm 12,59$  años, 509 pacientes (56.3%) fueron hombres.

Fueron incluidos pacientes mayores de 18 años con eco estrés negativo para isquemia; se excluyó a los pacientes con antecedente de enfermedad miocárdica conocida, cardiopatía estructural de otra etiología (por ejemplo, pacientes valvulares), bloqueo completo de rama izquierda, con fibrilación auricular o ventana ultrasónica inadecuada.

Todos los pacientes fueron sometidos a ecocardiograma de estrés con ejercicio, informado con ausencia de disinergias y función global y regional de reposo normal. Previamente todos firmaron el consentimiento informado aceptando la realización de la prueba y la utilización de los datos con fines científicos.

### Ecocardiograma Estrés

Los pacientes permanecieron al menos 4 horas en ayunas. Para la realización del estudio, se utilizó una camilla con bicicleta supina marca Schiller. El ejercicio se realizó según el protocolo de Astrand.

Se utilizó un ecocardiógrafo Vivid E9 ó E95 (GE Healthcare), con transductor Matriz de 5 MHz, con adquisición de las imágenes bidimensionales con una tasa de entre 60 – 70 cuadros/segundo. La evaluación de los parámetros ecográficos habituales se realizó de acuerdo con los lineamientos de la Sociedad Americana de Ecocardiografía (ASE).

### Estimación de Reserva contráctil por fracción de eyección y elastancia Ventricular

La FEVI fue definida como el porcentaje que representa el volumen latido, definido como la diferencia entre el volumen de fin de diástole (VFD) y el de fin de sístole (VFS) del ventrículo izquierdo respecto del VFD.  $FEVI = [(VFD - VFS) / VFD] \times 100$ .

La Elastancia Ventricular fue definida como la relación entre presión arterial sistólica (PAS) y volumen de fin de sístole del ventrículo izquierdo (PAS/VFS).

La FEVI y la estimación de volúmenes ventriculares, se obtuvieron en forma automática con correcciones manuales cuando el seguimiento visual endocárdico lo ameritaba. Los valores finales resultaron del promedio de al menos 2 mediciones.

En cada etapa del protocolo del estudio, se registró la presión arterial con un tensiómetro automático Omron.

### Valoración de reserva contráctil

Se valoró la Reserva Contráctil (RC) por FEVI y por elastancia. Se consideró RC por FEVI presente al incremento absoluto de la FEVI en el ejercicio de al menos 5 puntos, y presencia de RC por elastancia, cuando el cociente de elastancia esfuerzo/reposo fue igual o mayor de 2.

El operador que realizó todos los estudios se encuentra certificado como de alta experiencia en la lectura de los volúmenes ventriculares según requerimiento para el ingreso al proyecto 2020 liderado por Eugenio Picano. (10)

#### Eventos Mayores – Puntos finales

Se consideró evento cardiovascular mayor a: muerte, infarto agudo de miocardio (IAM), accidente cerebro vascular (ACV) y/o necesidad de internación por causa cardiovascular, en el seguimiento promedio de  $17,7 \pm 5,44$  meses.

### Análisis estadístico

Las variables cuantitativas se presentaron como media y desviación estándar o mediana y rango intercuartil según la distribución fuera paramétrica o no. En la comparación de dos grupos se empleó la prueba de la t de Student o la de Wilcoxon según la distribución fuera paramétrica o no, respectivamente. Las variables cualitativas se expresaron como porcentajes y la significación estadística se determinó con la prueba de chi cuadrado. Todas las comparaciones fueron bilaterales, considerándose estadísticamente significativos valores de  $p < 0,05$ . Las variables que en el análisis univa-

riado mostraron una relación con un valor de  $p < 0,1$  fueron introducidas en un análisis multivariado mediante regresión logística. El procesamiento de los datos se realizó con el paquete estadístico SPSS 10.0 (SPSS Inc. Chicago, EE.UU.).

### Consideraciones éticas

El estudio fue evaluado y aprobado por un Comité de Investigación institucional. Se requirió consentimiento informado, autorizado por un familiar o responsable de cada paciente incluido en el estudio.

### RESULTADOS

Los 904 pacientes incluidos en el estudio, fueron divididos en 2 grupos. En el Grupo 1 se incluyeron a aquellos pacientes que presentaron RC por FEVI. Este grupo a su vez se dividió en 2 Subgrupos: Grupo 1A: RC por elastancia presente, y Grupo 1B: ausencia de RC por elastancia.

En el grupo 2 se incluyeron a aquellos pacientes con ausencia de RC por FEVI. Coincidentemente, en este grupo todos los pacientes tuvieron ausencia de RC por elastancia.

Del total, 536 pacientes (59,29%) se incluyeron en el Grupo 1, 200 (37,32%) en el Grupo 1A y 336 (62,68%) en el Grupo 1B; 368 pacientes (40,71%) se incluyeron en el Grupo 2.

Los pacientes del Grupo 2 fueron significativamente más añosos con respecto al grupo 1 ( $63,58 \pm 11,2$  años vs.  $60,78 \pm 13,3$  años,  $p < 0,001$ ). No hubo diferencias clínicas basales entre los pacientes de los Grupos 1A y 1B. (Tabla 1 y Tabla 2).

Variables	Grupo 1 (RC por FEVI+)	Grupo 2 (RC por FEVI -)	p
Edad (años)	60,78 $\pm$ 13,3	63,58 $\pm$ 11,2	0,001
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	28,92 $\pm$ 5,2	28,73 $\pm$ 4,9	NS
HTA (%)	44,7	55,3	0,1
DBT (%)	20,1	18,3	NS
PAS reposo (mmHg)	125,49 $\pm$ 21,8	128,20 $\pm$ 21,4	NS
FEVI reposo %	59,59 $\pm$ 8,4	58,79 $\pm$ 10,5	NS
VFDi reposo(ml/m <sup>2</sup> )	43,28 $\pm$ 12,85	45,53 $\pm$ 15,36	NS
VFSi reposo (ml/m <sup>2</sup> )	17,5 $\pm$ 9,73	19,62 $\pm$ 2,3	NS
PAS estrés (mmHg)	188,12 $\pm$ 31,4	185,49 $\pm$ 30,1	NS
FEVI estrés %	66,85 $\pm$ 8,4	60,6 $\pm$ 64	0,001
FC estrés	131 $\pm$ 20	128 $\pm$ 19	NS
VFDi estrés (ml/m <sup>2</sup> )	42,18 $\pm$ 10,9	48,5 $\pm$ 11,2	0,001
VFSi estrés (ml/m <sup>2</sup> )	13,98 $\pm$ 3,2	18,76 $\pm$ 12,02	0,001
Variación de Fevy	7,26 $\pm$ 1,22	1,81 $\pm$ 1,28	0,001
Elastancia	1,88 $\pm$ 0,53	1,51 $\pm$ 0,41	0,05
Delta VFDi estrés/reposo	-1,10 $\pm$ 11,1	3,22 $\pm$ 11,1	0,001
Delta VFSi estrés-reposo:	-3,83, $\pm$ 3,75	-0,86 $\pm$ 3,6	0,001

**Tabla 1.** Características generales basales y al estrés. Grupo 1 vs. Grupo 2

RC: reserva contractil; IMC: índice de masa corporal; HTA: hipertensión arterial; DBT: diabetes; PAS: presión arterial sistólica; VFDi: volumen fin de diástole indexado; VFSi: volumen fin de sístole indexado; FC: frecuencia cardíaca; FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo; NS: no significativo

### Resultados del estrés con ejercicio

Todos los pacientes tuvieron ausencia de isquemia miocárdica al doble producto alcanzado, en el análisis de la motilidad y del comportamiento del *strain* longitudinal por *speckle tracking*.

El comportamiento de los volúmenes con el ejercicio mostró diferencias entre los diferentes grupos. Los pacientes del Grupo 2 tuvieron un mayor incremento del delta del VFS indexado (estrés/reposo) respecto del Grupo 1:  $3,22 \pm 11,1$  ml vs  $-1,10 \pm 11,1$  ml  $p < 0,001$ ; y menor disminución del VFS indexado: delta del VFS estrés/reposo:  $-0,86 \pm 5,6$  ml vs  $-3,83 \pm 3,75$  ml, respectivamente;  $p < 0,001$ .

Los pacientes del subgrupo G1A presentaron mayor disminución del VFS indexado en el ejercicio comparados con el subgrupo G1B: delta del VFS indexado estrés/reposo de  $-5,12 \pm 3,3$  ml vs  $-2,54 \pm 3,68$  ml, respectivamente;  $p < 0,001$ , según puede observarse en la Tabla 2.

### Resultados del seguimiento

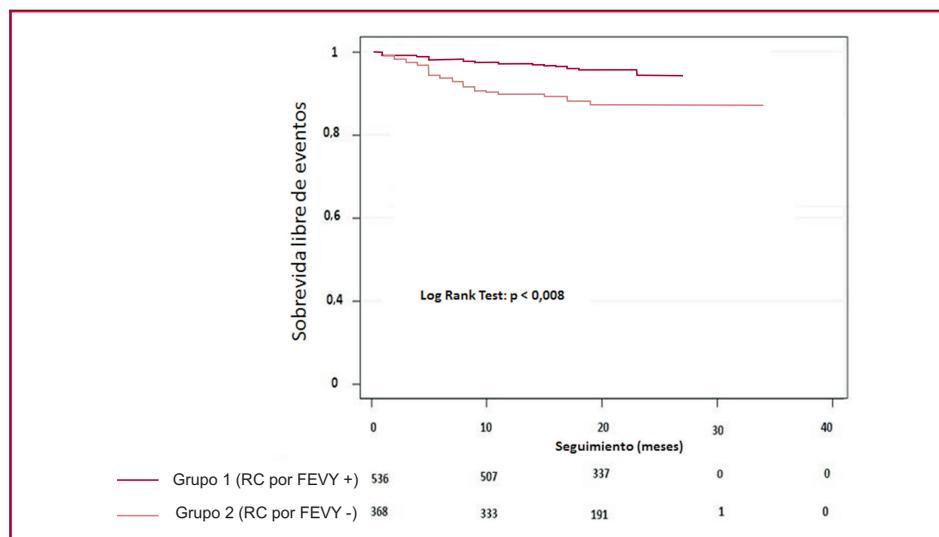
El seguimiento promedio fue de  $17,7 \pm 5,44$  meses. Durante el mismo, los pacientes sin RC de ningún tipo (Grupo 2), presentaron mayor cantidad de eventos mayores en comparación con los del Grupo 1: 30 (8,15%) vs 22 (2,59%) (HR 3,14, IC 95% 1,95-5,9, log Rank test  $p < 0,008$ ). (Figura 1).

**Tabla 2.** Características generales basales y al estrés. Grupo 1A vs. Grupo 1B

VARIABLES	Grupo 1A (RC por FEVI + y Elastancia +)	Grupo 1B (RC por FEVI + y Elastancia -)	p
Edad (años)	59,41 ± 13,1	62,15 ± 13,5	NS
IMC kg/m <sup>2</sup>	28,39 ± 4,9	29,45 ± 5,5	NS
HTA (%)	43,4	46,0	NS
DBT (%)	20,03	20,13	NS
PAS reposo (mmHg)	126,79 ± 23,2	124,01 ± 20,51	0,1
FEVI reposo %	60,23 ± 8,2	58,95 ± 8,6	NS
VFSi reposo(ml/m <sup>2</sup> )	16,4 ± 9,35	18,6 ± 10,11	NS
PAS estrés (mmHg)	194,22 ± 34,4	182,02 ± 28,4	0,001
FEVI estrés %	67,89 ± 8,6	65,81 ± 8,2	NS
FC estrés	130 ± 20	132 ± 20	NS
Variación de FEVI	7,66 ± 1,1	6,86 ± 1,02	0,1
Elastancia	2,21 ± 0,11	1,59 ± 0,11	0,001
VFSi estrés (ml/m <sup>2</sup> )	11,28 ± 6,2	16,06 ± 2,3	0,001
Delta VFSi estrés/reposo	-5,12 ± 3,3	-2,54 ± 6,5	0,001

IMC: índice de masa corporal; HTA: hipertensión arterial; DBT: diabetes; PAS: presión arterial sistólica; VFSi: volumen fin de sístole indexado; FC: frecuencia cardíaca; FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo; NS: no significativo

**Fig. 1.** Reserva Contráctil y Sobrevida libre de Eventos. Grupo 1 vs. Grupo 2



RC: reserva contractil, FEVI: Fracción de eyección del ventrículo izquierdo

Cuando se compararon los resultados de los pacientes de los subgrupos 1A y 1B, se evidenció que los del subgrupo 1A presentaron 4 eventos mayores (2%) vs. 18 (5,35%) del subgrupo 1B (HR = 2,46 (IC95% 1,06-7,3), log rank test  $p < 0,05$ ), (Figura 2).

Finalmente, se realizó un modelo de Regresión de Cox en donde se incluyeron todas las variables con significancia  $p < 0,10$ , y la RC valorada adicionalmente con elastancia resultó ser la única variable predictora de eventos (HR 3,22, IC95% 1,83-5,6)  $p < 0,001$ .

## DISCUSIÓN

En el presente estudio se compararon dos métodos para evaluar la RC en un grupo de pacientes con un Eco Estrés con ejercicio sin isquemia inducible desde el punto de vista del análisis de la motilidad visual y del comportamiento del strain longitudinal por *speckle tracking*. Se cuantificó la RC de la manera habitual, y se midió el índice entre la presión arterial sistólica y el volumen de fin de sístole del VI, es decir la elastancia ventricular, en el esfuerzo en relación al reposo.

Como era previsible, los pacientes con RC por FEVI disminuida tuvieron peor pronóstico. Pero dentro del grupo con RC por FEVI aún preservada, la valoración de la RC por elastancia permitió identificar dos grupos con diferente evolución, peor en aquellos con RC por elastancia disminuida.

El protocolo ABCD propuesto por Picano y cols, (10,11) integra varios parámetros a evaluar durante la realización de un Eco Estrés, mediante apremio físico o farmacológico. El análisis de motilidad segmentaria o Asinergias (A) es solo una de las variables a tener en cuenta, a la que se le adiciona la evaluación de líneas B mediante el eco pulmonar (B), la valoración de la RC (C), y la reserva coronaria por medición del comportamiento de las velocidades en la arteria descendente

anterior distal con Doppler pulsado (D). Todos estos aspectos resultan de importancia para una evaluación integral de la función cardiovascular, no solamente en cardiopatía isquémica sino también en otras patologías. (12)

En una valoración exhaustiva del paciente, la medición de la RC constituye uno de los principales parámetros que debemos tener en cuenta al analizar el resultado de un eco estrés. Si bien tradicionalmente se analiza mediante el aumento de la FEVI durante la fase de estrés, este método presenta dos limitaciones importantes: su fuerte dependencia de las condiciones de carga y la alta variabilidad intra e inter observador. Otra forma de medición propuesta, es hacerlo a través del comportamiento de la elastancia, lo cual ha sido validado en estudios previos. (13,14) Normalmente durante el apremio se observa un incremento de la PAS junto con una disminución del VFS indexado, de manera que la relación entre ambos se duplica durante el Eco Estrés. Cabe aclarar que en los estudios de eco estrés con vasodilatadores se utilizan otros valores de corte (se considera normal un valor  $> 1,1$ ), ya que el comportamiento de la PAS y del VFS indexado es diferente.

La elastancia refleja el estado contráctil intrínseco del ventrículo izquierdo, menos dependiente de las cargas. Esta medición incorpora 2 marcadores pronósticos reconocidos, un bajo incremento de la PAS en el ejercicio y/o una menor disminución del VFS indexado, los cuales se asocian a peor pronóstico y mayor mortalidad. Estudios previos sugieren que esta medición tendría mayor sensibilidad que la medida a partir de la FEVI y podría detectar a un grupo de pacientes de mayor riesgo. (15,16)

En el presente trabajo encontramos un 62,8% de los pacientes con FEVI conservada y elastancia baja, cifra un poco más alta que la descripta por T Bombar-

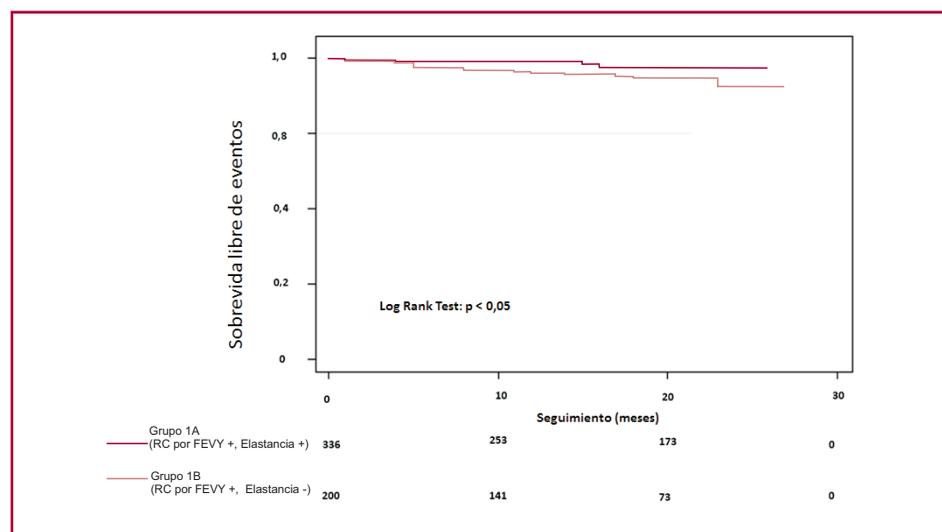


Fig. 2. Reserva Contráctil y Sobrevivencia libre de Eventos. Grupo 1A vs. Grupo 1B

dini y col. que refieren esa discordancia en alrededor del 40% de los pacientes. (5)

En condiciones normales, el volumen de fin de diástole del ventrículo tiene un leve incremento con bajo esfuerzo, para luego disminuir en el máximo esfuerzo a niveles similares al reposo, por lo que el incremento de la FEVI se produce fundamentalmente a expensas de la disminución del VFS. Se conoce que el VFD no tiene influencia real sobre el cálculo de la elastancia ventricular, aunque sí lo tiene sobre la FEVI. (17)

Datos experimentales sugieren que el VFS es menos afectado por las condiciones de carga, especialmente la precarga, y se correlaciona con la presión arterial sistólica tanto en reposo como ejercicio. (18)

Un trabajo de Turakhia y cols (19) describe en 934 pacientes con enfermedad coronaria conocida que aquellos que tuvieron un comportamiento reverso del VFS del ventrículo izquierdo con el ejercicio, tuvieron mayor incidencia de eventos cardiovasculares en el seguimiento, aún en los pacientes sin comportamiento isquémico en el análisis de la motilidad segmentaria, similar a lo observado en nuestro trabajo.

Consideramos que la evaluación del comportamiento de los volúmenes ventriculares debe hacerse en todos los apremios (farmacológico y ejercicio), ya sea mediante la medición de los diámetros ventriculares o la estimación directa a través del método de Simpson. Hay que tener en cuenta que un incremento de 10 ml en el VFS en máximo esfuerzo con respecto al reposo se asocia a un incremento del 15% en la probabilidad de eventos graves en el seguimiento. (15)

La determinación del VFS es más simple que medir la fracción de eyección, que necesita adicionar la medida del VFD por lo que el error se incrementa.

Es de destacar que en un análisis realizado por nuestro grupo, que tiene mucha experiencia en la medición de los volúmenes ventriculares de manera semiautomática, la RC evaluada por elastancia no estuvo asociada a la suficiencia de la prueba ergométrica por lo que es un parámetro útil aún en pacientes con poca capacidad de ejercicio o tratados con beta bloqueantes. (20)

Podemos concluir que un estudio de apremio puede definirse como negativo para isquemia miocárdica desde el punto de vista del análisis de la motilidad segmentaria, pero la anormalidad por otros parámetros, como la elastancia ventricular, permite agregar información pronóstica adicional de gran valor.

### Implicancias clínicas

Comparada con la medición aislada de la RC por FEVI, la elastancia ventricular puede ser un indicador más sensible y preciso de la reserva contráctil, menos afectada por las condiciones de carga y frecuencia cardiaca (efecto Bowditch Treppe), reflejando la contractilidad intrínseca del ventrículo izquierdo durante el ejercicio.

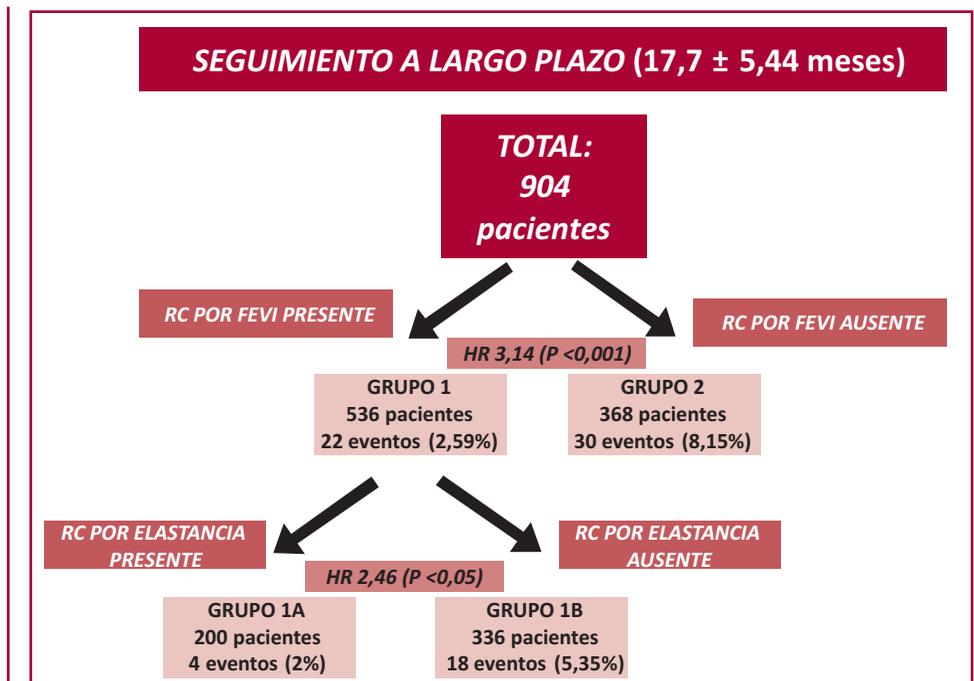
Nuestro trabajo demuestra que además de estas ventajas fisiopatológicas, el resultado de su determinación, que es muy simple y no insume un tiempo extra de estudio, impacta en la tasa de eventos durante el seguimiento de los pacientes por lo que se sugiere su evaluación rutinaria durante los estudios de eco estrés (Figura 3).

### Limitaciones

El estudio fue retrospectivo y unicéntrico

No obtuvimos, en el seguimiento, la correlación anatómica valorada por cinecoronariografía o angiotomografía, de aquellos pacientes que tuvieron eventos clínicos.

Fig. 3. Resultados. Eventos a largo plazo



Finalmente, un grupo pequeño de pacientes fueron evaluados bajo medicación anti-isquémica, que puede disminuir la presencia de anomalías contráctiles durante el estrés.

## CONCLUSIONES

La RC evaluada por elastancia ventricular durante un eco estrés con ejercicio, negativo para isquemia miocárdica y adecuado comportamiento de la FEVI, permitió identificar un subgrupo de pacientes con peor pronóstico a largo plazo.

## Declaración de conflicto de interés

Todos los autores que figuran en el trabajo han contribuido a la producción del presente estudio y ninguno tiene directa o indirectamente algún conflicto de interés.

(Véanse formularios de conflicto de intereses de los autores en la web/Material suplementario).

## BIBLIOGRAFÍA

1. Takeuchi M, Bombardini T, Picano E. Rational Basis of Stress Echocardiography. En: Stress Echocardiography. 6th ed. Springer, Cham, 2015. pp 53-68. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-20958-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-20958-6_4)
2. Suga H. Time course of left ventricular pressure volume relationship under various end-diastolic volume. *Jpn Heart J* 1969;10:509-15. <https://doi.org/10.1536/ihj.10.509>
3. Suga H, Sagawa K, Shoukas AA. Load independence of the instantaneous pressure-volume ratio of the canine left ventricle and effects of epinephrine and heart rate on the ratio. *Circ Res* 1973;32:314-22. <https://doi.org/10.1161/01.res.32.3.314>
4. Sagawa K, Suga H, Shoukas AA, Bakalar KM. End-Systolic Pressure/Volume Ratio: A New Index of Ventricular Contractility. *Am J Cardiol* 1977;40:748-53. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(77\)90192-8](https://doi.org/10.1016/0002-9149(77)90192-8)
5. Bombardini T, Zoppè M, Ciampi Q, Cortigiani L, Agricola E, Salvadori S, et al. Myocardial contractility in the stress echo lab: from pathophysiological toy to clinical tool. *Cardiovasc Ultrasound* 2013;11:41. <https://doi.org/10.1186/1476-7120-11-41>
6. Burkhoff D, Mirsky I, Suga H. Assessment of systolic and diastolic ventricular properties via pressure-volume analysis: a guide for clinical, translational, and basic researchers. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2005;289:H501-12. <https://doi.org/10.1152/ajp-heart.00138.2005>
7. Picano E, Bombardini T, Kovačević Preradović T, Cortigiani L, Wierzbowska-Drabik K, Ciampi Q. Left ventricular contractile reserve in stress echocardiography: the bright side of the force. *Kardiol Pol* 2019;77:164-172 <https://doi.org/10.5603/KPa.2019.0002>
8. Bombardini T, Mulieri LA, Salvadori S, Costantino MF, Scali MC, Marzilli M, et al. Pressure-volume Relationship in the Stress-echocardiography Laboratory: Does (Left Ventricular End-diastolic) Size Matter? *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2017;70:96-104. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2016.04.047>
9. Grosu A, Bombardini T, Senni M, Duino V, Gori M, Picano E. End-systolic pressure/volume relationship during dobutamine stress echo: a prognostically useful non-invasive index of left ventricular contractility. *Eur Heart J* 2005;26:2404-12. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehi444>
10. Picano E, Ciampi Q, Wierzbowska-Drabik K, Urluescu ML, Morrone D, Carpeggiani C. The new clinical standard of integrated quadruple stress echocardiography with ABCD protocol. *Cardiovasc Ultrasound* 2018;16:22. <https://doi.org/10.1186/s12947-018-0141-z>
11. Ciampi Q, Zagatina A, Cortigiani L, Wierzbowska-Drabik K, Kasprzak JD, Haberka M, et al. Prognostic Value of stress echocardiography assessed by the ABCDE protocol. *Eur Heart J* 2021;42:3869-78. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab493>
12. Daros CB, Ciampi Q, Cortigiani L, Gaibazzi N, Rigo F, Wierzbowska-Drabik K, et al, On Behalf Of The Stress Echo Study Group Of The Italian Society Of Echocardiography And Cardiovascular Imaging. Coronary Flow, Left Ventricular Contractile and Heart Rate Reserve in Non-Ischemic Heart Failure. *J Clin Med* 2021;10:3405. <https://doi.org/10.3390/jcm10153405>
13. Sekido M, Uemura R, Takayama M, Kiuchi K, Nejima J, Takano T. Left ventricular peak systolic pressure/end-systolic volume ratio change after dobutamine infusion for predicting left ventricular contractile reserve: comparison with Emax. *J Cardiol* 2002;39:75-84.
14. Bombardini T, Correia M. J, Cicerone C, Agricola E, Ripoli A, Picano E. Force-frequency relationship in the echo lab: a non invasive assessment of Bowditch Treppe? *J Am Soc Echocardiogr* 2003;17:832-41.
15. Cortigiani L, Bombardini T, Corbisiero A., Mazzoni A, Bovenzi F, Picano E. The additive prognostic value of end-systolic pressure-volume relation in patients with diabetes mellitus having negative dobutamine stress echocardiography by wall motion criteria. *Heart* 2009;95:1429-35. <https://doi.org/10.1136/hrt.2008.161752>
6. Bombardini T, Costantino MF, Sicari R, Ciampi Q, Pratali L, Picano E. End-systolic elastance and ventricular-arterial coupling reserve predict cardiac events in patients with negative stress echocardiography. *Biomed Res Int* 2013;235194. <https://doi.org/10.1155/2013/235194>
17. Torres MA, Texeira TF, Camarozano AC, Bellagamba CCA, Quevedo NM, Junior AI, et al; Stress Echo 2020 study group of the Italian Society of Cardiovascular Imaging. The value of a simplified approach to end-systolic volume measurement for assessment of left ventricular contractile reserve during stress-echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2019;35:1019-26. <https://doi.org/10.1007/s10554-019-01599-5>
18. White HD, Norris RM, Brown MA, Brandt PW, Whitlock RM, Wild CJ. Left ventricular end-systolic volume as the major determinant of survival after recovery from myocardial infarction. *Circulation* 1987;76:44-51. <https://doi.org/10.1161/01.cir.76.1.44>
19. Turakhia MP, McManus DD, Whooley MA, Schiller NB. Increase in end-systolic volume after exercise independently predicts mortality in patients with coronary heart disease: data from the Heart and Soul Study. *Eur Heart J* 2009;30:2478-84. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehp270>
20. Merlo P, Arbucci R, Sevilla D, Martinez L, Lowenstein, JA. Efecto de la frecuencia cardíaca sobre la reserva contráctil evaluada por elastancia ventricular en el Eco Estrés Ejercicio.. Congreso Argentino de Cardiología SAC 2018. (resumen 0377).