

La reserva del reservorio. Evaluación funcional por *Strain* 2D de la aurícula izquierda en reposo y esfuerzo

The Reservoir Function. Functional Evaluation of the Left Atrium by Two-dimensional Strain during Rest and Exercise Stress

DIANA ROMERO ZERTUCHE, ROSINA ARBUCCI, DANIELA SEVILLA, GRACIELA ROUSSE, DIEGO LOWENSTEIN, MELISSA RODRÍGUEZ ISRAEL, NATALIA UGALDE GALLEGOS, JORGE LOWENSTEIN

RESUMEN

Introducción: El estudio ecocardiográfico de la función global auricular izquierda, según guías, se basa en la medición de dimensiones, áreas, volúmenes y la función diastólica mediante la interrogación con Doppler pulsado. Su importancia es trascendental, ya que su dilatación ha demostrado ser un predictor de eventos cardiovasculares adversos.

Con el advenimiento de las nuevas técnicas ecocardiográficas es posible evaluar la mecánica de la deformación de la pared auricular (*strain*) con curvas que identifican la función de reservorio, conducto y contracción. Sin embargo, aún no hay consenso para definir el valor de *strain* auricular izquierdo, determinado mediante *speckle tracking*, en pacientes normales y su respuesta con el ejercicio.

Objetivos: Establecer el valor de referencia de *strain* auricular izquierdo en pacientes sanos en reposo y durante el pico de un ecoestrés de esfuerzo. Además, analizar la relación de la deformación con la E/e' para determinar los cambios de rigidez auricular.

Metodología: Estudio descriptivo, prospectivo, observacional. Se incluyeron los pacientes mayores de 18 años, sanos, sin factores de riesgo cardiovascular, ni antecedentes patológicos a los que se realizó un ecoestrés con ejercicio entre enero y marzo 2017. Se utilizó un Vivid E 95 (GE Healthcare), con transductor 5MS MHz, con adquisición de las imágenes con un *frame rate* entre 60-70 en reposo y entre 80-90 en el esfuerzo. Los *loops* se obtuvieron en las vistas de 4 cámaras y 2 cámaras, tanto en reposo como a la máxima carga de ejercicio y se analizaron *offline* (EchoPac Version 201). Para la medición de *strain*, se trazaron los bordes de la AI, a 1 mm de distancia del anillo de la válvula mitral, y se ajustó de manera manual el ancho de la zona de interés en relación con el espesor de la pared auricular. Se consideraron los 6 segmentos por cada vista y se analizó el valor promedio de la curva correspondiente al reservorio por ser la más representativa y reproducible. Para el valor de rigidez auricular se calculó el promedio $E/e' / strain \text{ AI} \times 100$. En el análisis estadístico, las variables categóricas se expresan como porcentaje y las cuantitativas como media \pm DS y se comparan con la prueba de t para muestras pareadas. Se consideró significativa una $p < 0,05$.

Resultados: De 34 pacientes con criterios de inclusión se excluyeron a 3 por mala ventana ecocardiográfica en reposo y 2 en el esfuerzo. De los 29 pacientes analizados (factibilidad total 85%), 16 fueron hombres con una media de edad de la población de $50 \pm 10,6$ años. La variabilidad intraobservador del cálculo del reservorio en reposo y esfuerzo fue del $2,2\% \pm 1,6$ y $2,3\% \pm 2,5$ e interobservador de $6\% \pm 7$ y $4,6\% \pm 4$, respectivamente.

Conclusiones: En una población normal resultó factible evaluar la función del reservorio de la aurícula izquierda en reposo y durante el esfuerzo máximo con un incremento significativo de la deformación, sin cambios de la rigidez auricular.

Palabras clave: Ecocardiografía de estrés - Función auricular izquierda - *Strain* auricular izquierdo

ABSTRACT

Background: According to different guidelines, the echocardiographic evaluation of left atrial function based on dimensions, areas, volumes and diastolic function through pulsed-wave Doppler interrogation is fundamental, as left atrial dilatation has been shown to be a predictor of adverse cardiovascular events. The advent of new echocardiographic techniques has allowed the assessment of atrial deformation (*strain*) with curves that identify the reservoir, conduit and contractile function. However, there is still no consensus to define left atrial strain by speckle tracking in normal patients and its response with exercise.

Objectives: The aim of this study was to establish the left atrial strain reference value at rest and during peak exercise stress echocardiography in healthy patients and to analyze the relationship between deformation and the E/e' ratio to assess changes in atrial stiffness.

Methods: This was a descriptive, prospective, observational study, including patients over 18 years of age, with no cardiovascular risk factors or previous history of comorbidities, who underwent an exercise stress echocardiography test between January and March 2017. A Vivid E 95 ultrasound system (GE Healthcare) was used, with 5MS MHz transducer and image acquisition frame rate between 60 and 70 frames per second at rest, and between 80 and 100 during exercise. Loops were obtained in 4-chamber and 2-chamber views, both at rest and at maximum exercise load, and were analyzed offline with

REV ARGENT CARDIOL 2017;85:520-526. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v85.i6.11833>

VEÁSE CONTENIDO RELACIONADO: Rev Argent Cardiol 2017; 85: 495-496. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.85.i6.12694>

Recibido: 09/06/2017 - Aceptado: 29/08/2017

Dirección para separatas: Diana Romero Zertuche. UMAE Hospital de Cardiología Centro Médico Nacional Siglo XXI. Ciudad de México, México. Avenida Cuauhtémoc 880, departamento 304. Colonia Narvarte Poniente. Delegación Benito Juárez. (3020). Ciudad de México, México. e-mail: dirzcardio@gmail.com

Laboratorio de Ecocardiografía. Investigaciones Médicas. Buenos Aires, Argentina.

EchoPac 201 software. Strain was measured tracing the borders of the left atrium at 1 mm from the mitral valve annulus, and manually adjusting the width of the region of interest to cover atrial wall thickness. The 6 segments were considered for each view and the average value of the curve corresponding to the reservoir was analyzed, as it was the most representative and reproducible. The average E/e' /left atrial strain $\times 100$ ratio was used to calculate atrial stiffness. For the statistical analysis, categorical variables were expressed as percentages; quantitative variables were expressed as mean \pm SD and compared using paired t test. Significance was established for $p < 0.05$.

Results: Among the 34 patients meeting the inclusion criteria, 3 were excluded due to poor echocardiographic window at rest and 2 during exercise. Mean age of the remaining 29 patients (85% total feasibility) was 50 ± 10.6 years and 16 were men. Intraobserver variability of reservoir calculated at rest and during exercise was $2.2 \pm 1.6\%$ and $2.3 \pm 2.5\%$, respectively, and interobserver variability $6 \pm 7\%$ and $4.6 \pm 4\%$.

Conclusions: In normal patients it was possible to assess left atrial reservoir function at rest and during maximum exercise stress with a significant increase of deformation and without changes in atrial stiffness.

Key words: Stress Echocardiography - Left Atrial Function - Left atrial strain

Abreviaturas

| | | | |
|-----|---------------------|------|---|
| AI | Aurícula izquierda | PSAP | Presión sistólica de la arteria pulmonar |
| DS | Desviación estándar | ROI | Región de interés |
| FC | Frecuencia cardíaca | SPSS | Statistical package for the social sciences (paquete estadístico para la sociedad científica) |
| Lpm | Latidos por minutos | | |

INTRODUCCIÓN

Actualmente se reconoce que la aurícula izquierda (AI) es más que una cámara de paso para el flujo sanguíneo y que la normalidad de su función es de fundamental importancia en la modulación del llenado ventricular. Su función se puede clasificar en 3 diferentes fases: 1) fase de reservorio para el retorno venoso durante la sístole ventricular y la contracción isovolumétrica, 2) fase de conducto durante la diástole temprana y 3) fase de bomba mediante la contracción auricular, que contribuye del 15% al 30% del gasto cardíaco. (1) Para llevar a cabo este conjunto de funciones, la AI está dotada de cardiomiocitos cilíndricos que se suelen bifurcar en sus porciones terminales, están conectados entre ellos con discos intercalados y forman sincios por donde se propaga el impulso eléctrico para activar su mecánica. (2)

La importancia de la adecuada función auricular izquierda ha sido bien establecida al demostrar que su dilatación es un predictor pronóstico de diferentes patologías, tales como un accidente vascular cerebral transitorio o permanente, falla cardíaca y fibrilación auricular; (3-5) por lo que su estudio a través de ecocardiografía transtorácica 2D y, más recientemente, 3D es esencial en los pacientes con riesgo cardiovascular.

Hoy el estudio de la función auricular izquierda se basa principalmente en mediciones de áreas, volúmenes y la función diastólica con Doppler pulsado, como lo establecen las guías de cuantificación de cavidades. (6) Sin embargo, con el desarrollo de nuevas tecnologías inicialmente desarrolladas para evaluar la función ventricular, se han empezado a utilizar herramientas para analizar las curvas de deformación de las fibras miocárdicas auriculares en sus distintas fases durante el ciclo cardíaco y así poder entender de mejor manera su función en la contribución de la mecánica cardíaca.

Ya existen algunos estudios que definen valores de normalidad de *strain* y *strain rate* medidos por *speckle*

tracking de la AI en pacientes sanos, (7-9) y, a pesar de que aún no hay un consenso internacional acerca de estos valores normales, sí hay estudios que han mostrado la utilidad de realizar la evaluación de mecánica auricular como predictor temprano de eventos cardiovasculares y la asociación que existe entre la función de la aurícula izquierda en reposo con las presiones de llenado ventricular izquierdo. (10-14)

Desde los comienzos del ecoestrés, se han incorporado nuevas tecnologías cuantitativas para disminuir la subjetividad del método, y aumentar su precisión diagnóstica. Existe información sobre la respuesta en la deformación ventricular izquierda durante el ejercicio y los apremios farmacológicos (15-18), pero conocemos solamente un trabajo publicado muy recientemente (octubre 2017) que evaluó el uso del *strain* 2D para la valoración de la función auricular durante el ecoestrés de esfuerzo en pacientes con insuficiencia cardíaca con función ventricular conservada. (19)

OBJETIVO

Establecer el valor de referencia de *strain* AI en pacientes sanos en reposo y durante el pico de un ecoestrés de esfuerzo. Además, analizar la relación de la deformación con la E/e' para determinar los cambios de rigidez auricular.

MATERIALES Y MÉTODOS

Pacientes

Se incluyeron de manera prospectiva del 2 de enero al 31 de marzo del 2017 todos los pacientes mayores de 18 años, sin factores de riesgo cardiovascular ni antecedentes personales patológicos, que acudieron al laboratorio de ecocardiografía en nuestra institución (Investigaciones Médicas, Buenos Aires) para realizar estudio diagnóstico con ecocardiograma estrés con ejercicio. De los pacientes seleccionados, se excluyeron los que presentaron ventana ultrasónica subóptima y los pacientes con resultado de ecoestrés positivo para isquemia

o con ausencia de reserva contráctil o disfunción diastólica del ventrículo izquierdo.

Ecoestrés

Se realizó ecocardiograma estrés con ejercicio en ciclo ergómetro supino, con etapas de 3 minutos e incremento de 25 Watts por etapa, hasta llevar a los pacientes al menos al 85% de su frecuencia cardíaca máxima estimada para la edad (protocolo Astrand modificado). Antes de comenzar el ejercicio, se realizó una evaluación ecocardiográfica completa de diámetros, áreas y volúmenes de las cámaras cardíacas, función sistólica y diastólica. Los estudios se efectuaron con un equipo Vivid E 95 (GE Health Care, Milwaukee, EE. UU.), equipado con transductor multifrecuenciales M5S MHz.

Se realizó el protocolo convencional de nuestra institución de adquisición de imágenes ventriculares y, además, se obtuvieron imágenes focalizadas de la AI en 4 y 2 cámaras, durante el reposo y antes de la máxima carga lograda por el paciente. Las capturas basales se realizaron a un *frame rate* entre 60 y 70 y durante el esfuerzo entre 80 y 90. Se calcularon por Doppler tisular los valores de e' septal, e' lateral y la relación de la onda E del lleno mitral con el promedio de las dos e' (E/e' promedio). Para el cálculo de rigidez auricular se consideró el índice $E/e' / \text{strain AI} \times 100$ y se determinó el índice rigidez / volumen AI. El ecocardiograma Doppler fue completo en reposo y esfuerzo, e incluyó la medición de las presiones pulmonares toda vez que se pudo registrar la velocidad del reflujo tricuspídeo.

En cada paciente, se realizó electrocardiograma de 12 derivaciones en forma simultánea y medición de la presión arterial en cada una de las etapas.

Strain longitudinal 2D de la aurícula izquierda

El análisis de la deformación auricular izquierda se realizó *offline* en la estación de trabajo (EchoPac, GE Healthcare) trazando los bordes auriculares a 1 mm por debajo del plano valvular mitral y ajustando de manera manual el ancho del ROI (región de interés) al grosor de la pared auricular en todos los segmentos analizados.

Utilizamos el comienzo del complejo QRS como el punto de referencia para el análisis del *strain* de la AI. Se consideraron 6 segmentos por vista y se analizaron las curvas de *strain* (%) en la fase de reservorio auricular en reposo y en la máxima carga alcanzada durante el ejercicio (Figura 1). Además, se analizaron datos de volumen auricular biplanar indexado y valores de E/e' para obtener índices de rigidez auricular.

Análisis estadístico

Las variables continuas se presentan como media \pm desviación estándar o mediana y rango intercuartil, las categóricas se expresan como porcentaje. Las diferencias entre grupos para variables continuas de distribución normal se analizaron con la prueba de la t para los datos relacionados. Se consideró significativa una $p < 0,05$. Se utilizó el programa SPSS versión 18 (SPSS Inc. 5 Chicago, IL).

RESULTADOS

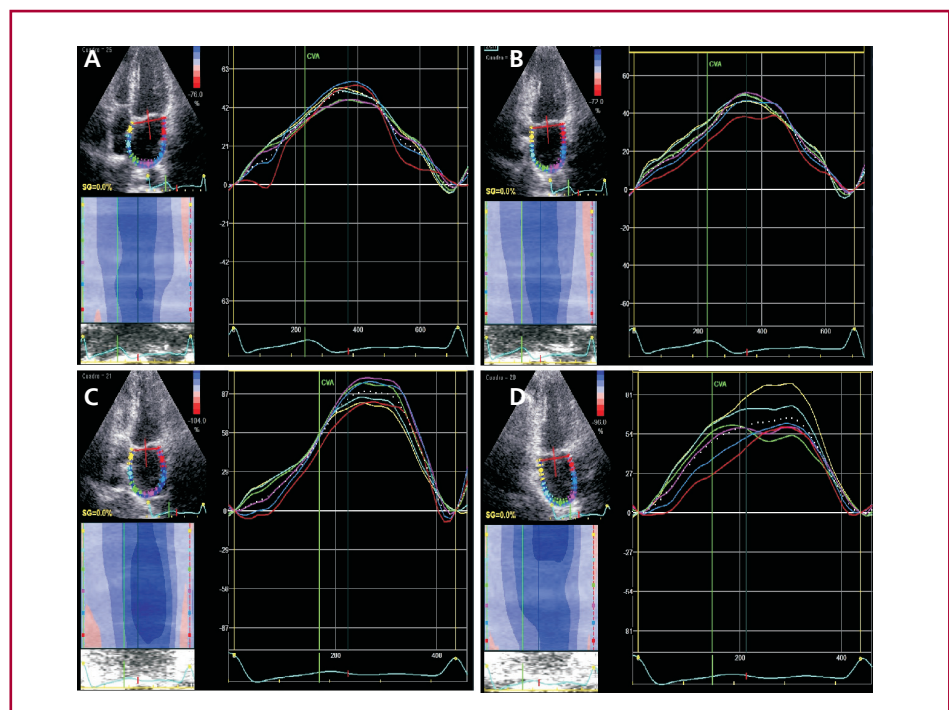
Ecoestrés

No hubo complicaciones en los pacientes evaluados durante la realización de los estudios de estrés con ejercicio.

Características de la población

Entre el 1 de enero de 2017 y el 31 de marzo de 2017 se realizaron 550 ecocardiogramas estrés con ejercicio en nuestro laboratorio; de estos, 34 pacientes cumplieron los criterios de inclusión de este estudio, se excluyeron 3 pacientes por mala ventana ecocardiográfica en reposo y 2 en esfuerzo. De los 29 pacientes analizados, 16 de ellos fueron hombres con una media de edad de la población de $50 \pm 10,6$ años. La media de frecuencia cardíaca en reposo fue de 67 ± 16 latidos por minuto (lpm) y la media de frecuencia cardíaca a la máxima carga de ejercicio fue de 115 ± 28 lpm.

Fig. 1. Análisis del *strain* en la fase del reservorio de la AI por *speckle tracking* en reposo y ejercicio. El análisis de las curvas de *strain* de la fase de reservorio de la AI se realizó en 12 segmentos, 6 en la vista 4 C y 6 en la vista 2 C, tanto en reposo como en ejercicio. El punto de mayor deformación de la curva blanca punteada en cada imagen marca el promedio del *strain* en el reservorio. (A) *Strain* AI en 4 C en reposo. (B) *Strain* AI en 2 C en reposo. (C) *Strain* AI en 4 C durante el ejercicio. (D) *Strain* AI 2 C durante el ejercicio. El *strain* auricular izquierdo promedio en reposo fue de $44,9 \pm 7,8$ y al esfuerzo de $58,9 \pm 9,4$ ($p < 0,0001$) con un delta de 14 puntos.



Volumen auricular, Doppler tisular, strain y rigidez

En 29 pacientes con ecoestrés normal, los valores de Doppler tisular de e' septal, e' lateral, velocidad de la onda E y la relación E/ e' promedio en reposo y esfuerzo pueden analizarse en la Tabla 1. En 27 pacientes, fue factible obtener la PSAP (presión sistólica pulmonar) durante el ejercicio y también se muestra este dato en reposo y ejercicio en la Tabla 1. El volumen auricular indexado a la superficie corporal de cada paciente se obtuvo en 4 y 2 cámaras. La media en reposo de este valor fue de $26,6 \pm 6,8$ ml/m² mientras que en la máxima carga fue de $22,1 \pm$

$5,8$ ml/m² con un valor de p de 0,009. La media del strain auricular longitudinal por *speckle tracking* en 4 y 2 cámaras, promediando los 12 segmentos totales analizados, tuvo un valor en reposo de $44,9 \pm 7,8\%$ y a la máxima carga de $58,9 \pm 9,4\%$, con un valor de $p < 0,0001$ (Figura 2).

Los valores de rigidez auricular y la relación rigidez/volumen obtenidos fueron de $17,6 \pm 6$ y $0,82 \pm 0,4$, respectivamente. Estos mismos índices se analizaron en la máxima carga, con valores de $15,8 \pm 4,2$ y $0,75 \pm 0,3$, respectivamente sin diferencias estadísticamente significativas (Figura 3).

Tabla 1. Resultados

| | FC | E cm/s | e' septal cm/s | e' lateral cm/s | E/ e' promedio | PSAP mmHg | Volumen AI indexado ml/m ² | Strain AI promedio % | Rigidez | Rigidez/ volumen |
|-------|---------------|-------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------------|---|----------------------------|----------------|---------------------|
| Basal | $67 \pm 1,06$ | $75,04 \pm 15,69$ | $9,45 \pm 3,4$ | $11,2 \pm 3,8$ | $7,7 \pm 2,2$ | $26,7 \pm 8,75$ | $26,6 \pm 6,8$ | $44,9 \pm 7,8$ | $17,8 \pm 6$ | $0,82 \pm 0,4$ |
| Pico | 115 ± 28 | $102 \pm 17,99$ | $11 \pm 2,0$ | $12 \pm 2,1$ | $9,1 \pm 1,8$ | $44,18 \pm 11,84$ | $22,1 \pm 5,8$ | $58,9 \pm 9,4$ | $15,8 \pm 4,2$ | $0,75 \pm 0,3$ |
| P | $< 0,0001$ | $< 0,0001$ | 0,01 | NS | 0,003 | $< 0,0001$ | 0,009 | $< 0,0001$ | NS | NS |

Valores basales y en el pico máximo del ejercicio de frecuencia cardíaca (FC), e' septal, e' lateral, relación E/ e' promedio, volumen auricular izquierdo indexado, strain auricular izquierdo promedio de los 12 segmentos analizados, rigidez auricular (E/ e' / strain AI $\times 100$), índice rigidez /volumen auricular izquierdo.

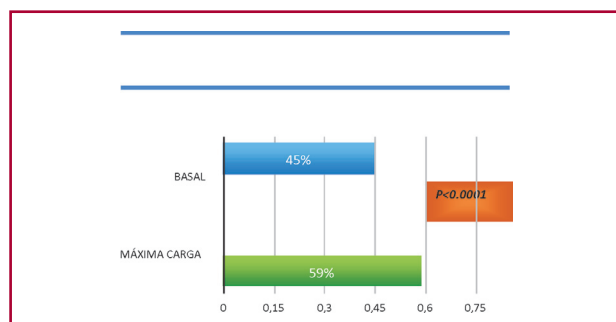


Fig. 2. Valores promedio, comparativos de strain auricular izquierdo en su fase de reservorio medido por *speckle tracking* basal y en ejercicio.

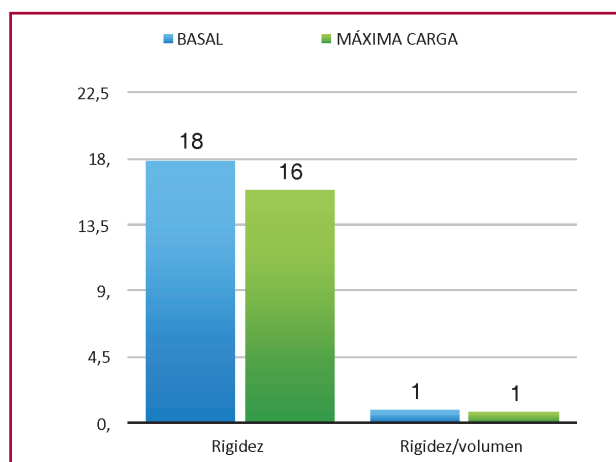


Fig. 3. Valores comparativos de rigidez (E/ e' / strain AI $\times 100$) y el índice rigidez/volumen en reposo y durante el ejercicio.

Factibilidad y variabilidad intraobservador e interobservador

La factibilidad de realizar la medición de strain auricular a la máxima carga fue del 85%.

La variabilidad intraobservador del cálculo del reservorio en reposo y esfuerzo fue del $2,2\% \pm 1,6$ y $2,3\% \pm 2,5$ e interobservador de $6\% \pm 7$ y $4,6\% \pm 4$, respectivamente.

DISCUSIÓN

Las nuevas herramientas ecocardiográficas nos brindan la posibilidad de cuantificar la mecánica cardíaca con valores comparables con otras técnicas de imagen cardiovascular más complejas y de menor disponibilidad.

El strain 2D es el más utilizado para evaluar la función ventricular izquierda mediante el análisis de la deformación longitudinal. Esta deformación es el cambio de la longitud corregido para la longitud original o el porcentaje de cambio desde la dimensión inicial.

El strain 2D no Doppler, es una técnica novedosa que analiza el desplazamiento de marcadores acústicos naturales (*speckles*) distribuidos en el miocardio que permiten evaluar la magnitud y el sentido del movimiento parietal local, lo cual permite calcular la velocidad del movimiento tisular, y su deformación, independientemente del ángulo de insonación.

Los parámetros clásicos de evaluación de la función diastólica no siempre son precoces y muestran variaciones con dependencia de las condiciones de carga y de la frecuencia cardíaca, por lo que los resultados pueden ser controversiales, tampoco el cálculo de dimensiones y volúmenes son útiles para evaluar la

función auricular cuando se intenta valorar pacientes con enfermedad subclínica, ya que frecuentemente no son patológicos.

La mayoría de las veces estas medidas solo están alteradas cuando el paciente presenta modificaciones morfológicas de la AI, por lo que diferentes investigadores, entre ellos el Dr. Jae Oh y cols. (20) han incursionado en el uso de *strain* longitudinal por *speckle tracking* en la pared AI y propuesto índices de rigidez auricular, los cuales han sido analizados y reproducidos con una alta factibilidad por otros autores como el grupo del Doctor Hector Deschle que publicó su experiencia en pacientes hipertensos jóvenes asintomáticos y estudió también un nuevo índice de relación entre rigidez/volumen AI. (21)

Existen antecedentes de descripciones sobre el comportamiento de la AI en condiciones normales en reposo, (22) pero nos pareció importante evaluar su conducta durante la ecocardiografía de estrés con ejercicio en individuos sanos.

La ecocardiografía estrés con ejercicio ha demostrado su utilidad no solo en el diagnóstico de cardiopatía isquémica, sino en muchas otras patologías, con la ventaja de proveer más información de la situación hemodinámica del paciente que con los estudios farmacológicos. (23)

Este trabajo tuvo como objetivo establecer el valor de referencia de *strain* AI en pacientes sanos en reposo y durante el pico de un ecoestrés de esfuerzo. Además, compararlo con otros parámetros importantes como la relación de la deformación con la E/e' para determinar los cambios de rigidez auricular.

El estudio de la función diastólica mediante el análisis de la relación entre la E del lleno mitral y el promedio de la velocidad tisular en el anillo mitral septal y el lateral ya fue evaluado en múltiples trabajos en reposo y también con ejercicio. (24, 25) También se demostró que los pacientes con *strain* disminuido tienen menor capacidad de ejercicio, equivalente a un aumento de la relación E/e' . (26)

En el presente trabajo observamos un aumento significativo de la relación E/e' durante el esfuerzo desde $7,7 \pm 2,2$ hasta $9,1 \pm 1,8$ ($p = 0,003$), pero dentro de valores considerados normales. Se sabe que un aumento de la relación $E/e' >$ de 13 o 14, es un parámetro de disfunción diastólica con un pronóstico similar a una respuesta isquémica y con una tasa alta de complicaciones en la evolución. (27, 28)

Los valores del *strain* global de la AI correlacionan bien con los índices de ecocardiografía Doppler que representan la función diastólica auricular y ventricular. Por lo tanto, era esperable que en reposo y durante el ejercicio en individuos sanos el incremento de la función auricular medida evaluada por *Strain* 2D se haya reflejado en un comportamiento normal de la relación E/e' y de la rigidez auricular y también con un adecuado incremento de la presión pulmonar con el esfuerzo (Tabla 1).

Consideramos que analizar la deformación miocárdica de la AI durante el ejercicio podría proveer en el futuro de una valiosa y precoz información en el diagnóstico de múltiples patologías y, posiblemente, tenga un comportamiento muy diferente en pacientes con respuesta isquémica, pero era necesario conocer primero el comportamiento en individuos normales.

En relación con los resultados obtenidos, podemos decir que determinar la reserva del reservorio de la AI por medio del *Strain* 2D fue factible y reproducible.

Se observó que el valor promedio de la deformación del reservorio de la AI de $44,9 \pm 7,8\%$ en reposo, resultó muy similar a la cifra de $46,17 \pm 10,05\%$ reportado por Deschle y cols. y un poco más elevados que los $39,6 \pm 7,8\%$ referidos en el trabajo de Mondillo y cols. (29)

Valores concordantes han sido reportados por otros autores que calcularon el *strain* del reservorio de menos segmentos porque excluyen el techo auricular como en el trabajo de J. P. Sun y cols. con un promedio de $46,8 \pm 7,7\%$ (7) y otros también descartaron el *septum* interauricular, (21) mientras que en nuestro análisis incorporamos los 6 segmentos por cámara analizada de la AI y seguimos las recomendaciones del grupo italiano de S. Mondillo. (29)

Un delta de aumento entre el reposo y el pico de ejercicio de alrededor de 15 puntos porcentuales en promedio desde $44,9 \pm 7,8$ hasta $58,9 \pm 9,4\%$ nos reveló que los individuos sanos tienen un importante almacenamiento en el reservorio de la AI.

En un trabajo muy recientemente publicado por investigadores de la Universidad de Milán, también registraron un incremento desde $31 \pm 5,6\%$ hasta $39 \pm 8\%$ en las vistas de 4 cámaras durante el ejercicio en controles normales y demostraron la importancia en determinar el *strain* de la AI durante el ejercicio como un novedoso parámetro de disfunción auricular izquierda como limitante de la capacidad de ejercicio. (19)

En el presente estudio, también evaluamos la rigidez de la AI definida como el incremento de la presión requerido para provocar un aumento determinado del volumen, y los valores de $17,8 \pm 6$ resultaron similares al trabajo de Deschle con cifras de rigidez auricular de $19,9 \pm 4$, pequeñas diferencias que pueden relacionarse con la edad de los pacientes ($50 \pm 10,6$ años vs. $43,72 \pm 5,02$).

Es conocido que una disminución de la reserva contráctil ventricular evaluado por *strain*, que puede ser evocado con ecoestrés con ejercicio o fármacos, juega un importante papel en el pronóstico en diferentes escenarios, como insuficiencia cardíaca con fracción de eyección conservada con mediciones normales en reposo, (30) en enfermos coronarios y en pacientes valvulares. (31-33)

En nuestro laboratorio, estamos ahora dedicados a determinar qué sucede con la remodelación de AI expresado por cambios del *strain* durante el ejercicio en atletas de élite, en pacientes hipertensos, con valvulopatías, en isquémicos y en insuficiencia cardíaca con fracción de eyección normal. Este es el nuevo desafío.

Limitaciones

La limitación de este trabajo es el escaso número de pacientes incorporados. Al ser un centro de diagnóstico altamente especializado, el número de individuos normales que se pudieron analizar en el período de tiempo de la recolección de datos para este estudio no fue numeroso.

Para calcular el *strain* auricular, al no existir un *software* dedicado a la aurícula, se utilizó el único algoritmo disponible en las estaciones de trabajo, que es el que se usa para el ventrículo izquierdo.

De las 3 fases de la función de la AI solamente se determinaron los valores de *strain* por *speckle tracking* en la fase de reservorio, ya que es la de mayor duración, con buena factibilidad y reproducibilidad.

Utilizamos el comienzo del complejo QRS como el punto de referencia para el análisis del *strain* de la AI, mientras que otros autores proponen la onda p para el comienzo del trazo de las curvas, (11) computamos el promedio de las 6 paredes auriculares aunque en diferentes trabajos se descartó el techo auricular por su discontinuidad por el ingreso de las venas pulmonares y, en otros, no se consideró el *septum* interauricular por compartir estructura con la cámara derecha; (7, 21) sin embargo, nuestros resultados no fueron diferentes.

Las imágenes para el cálculo de la deformación de la AI se adquirieron durante el ejercicio en camilla supina antes del pico del estrés, por lo que la FC alcanzada no siempre fue la máxima del paciente.

Técnicamente, el análisis de la deformación longitudinal 2D es dependiente de la ventana ultrasónica, por lo que las frecuencias cardíacas elevadas suelen generar artificios e imágenes de menor calidad para su posprocesamiento.

CONCLUSIONES

En individuos sanos, resultó factible y reproducible evaluar la función del reservorio de la aurícula izquierda en reposo y durante el esfuerzo, con un incremento significativo del *strain*, sin cambios de la rigidez auricular con el ejercicio.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no poseen conflicto de intereses.

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

BIBLIOGRAFÍA

1. Mehrzad R1, Rajab M2, Spodick DH. The three integrated phases of left atrial macrophysiology and their interactions. *Int J Mol Sci* 2014;15:15146-60. <http://doi.org/f6k8n2>
2. Goette A, Kalman JM, Aguinaga L, Akar J, Cabrera JA, Chen SA, et al. EHRA/HRS/APHS/SOLAECE expert consensus on atrial cardiomyopathies: definition, characterization, and clinical implication. *Europace* 2016;18:1455-90. <http://doi.org/chns>
3. Tsang TS, Abhayaratna WP, Barnes ME, Miyasaka Y, Gersh BJ, Bailey KR, et al. Prediction of cardiovascular outcomes with left atrial size: Is volume superior to area or diameter? *J Am Coll Cardiol* 2006;47:1018-23. <http://doi.org/dwd3qk>

4. Laukkanen JA, Kurl S, Eranen J, Huttunen M, Salonen JT. Left atrium size and the risk of cardiovascular death in middle-aged men. *Arch Intern Med* 2005;165:1788-93. <http://doi.org/dq7ch3>
5. Benjamin EJ, D'Agostino RB, Belanger AJ, Wolf PA, Levy D. Left atrial size and the risk of stroke and death. The Framingham Heart Study. *Circulation* 1995;92:835-41. <http://doi.org/q3p>
6. Lang R, Badano L, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:1-39. <http://doi.org/bhj5>
7. Sun JP, Yang Y, Guo R, Wang D, Lee AP, Wang XY, et al. Left atrial regional phasic strain, strain rate and velocity by speckle-tracking echocardiography: normal values and effects of aging in a large group of normal subjects. *Int J Cardiol* 2013;168:3473-9. <http://doi.org/f5ghbz>
8. Vianna-Pinton R, Moreno CA, Baxter CM, Lee KS, Tsang TS, Appleton CP. Two-dimensional speckle-tracking echocardiography of the left atrium: feasibility and regional contraction and relaxation differences in normal subjects. *J Am Soc Echocardiogr* 2009;22:299-305. <http://doi.org/fpt9w6>
9. Saraiva RM, Demirkol S, Buakhamsri A, Greenberg N, Popović ZB, Thomas JD, et al. Left atrial strain measured by two-dimensional speckle tracking represents a new tool to evaluate left atrial function. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:172-80. <http://doi.org/c59w4n>
10. Inaba Y, Yuda S, Kobayashi N, Hashimoto A, Uno K, Nakata T, et al. Strain Rate Imaging for Noninvasive Functional Quantification of the left atrium: comparative studies in control and patients with atrial fibrillation. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:729-36. <http://doi.org/bcns9z>
11. Kim DG, Lee KJ, Lee S, Jeong SY, Lee YS, Choi YJ, et al. Feasibility of two-dimensional global longitudinal strain and strain rate imaging for the assessment of left atrial function: a study in subjects with a low probability of cardiovascular disease and normal exercise capacity. *Echocardiography* 2009;26:1179-87. <http://doi.org/c59w4n>
12. Kurt M, Wang J, Torre-Amione G, Nagueh SF. Left atrial function in diastolic heart failure. *Circ Cardiovasc Imaging* 2009;2:10-5. <http://doi.org/dd5q4m>
13. Cameli M, Ciccone M, Maiello M, Modesti P, Muesan M, Scicchitano P, et al. Speckle tracking analysis: a new tool for left atrial function analysis in systemic hypertension: an overview. *J Cardiovasc Med* 2016;17:339-43. <http://doi.org/f8f5px>
14. Otani K, Takeuchi M, Kaku K, Haruki N, Yoshitani H, Tamura M, et al. Impact of diastolic dysfunction grade on left atrial mechanics assessed by two-dimensional speckle tracking echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:961-7. <http://doi.org/b7f4qc>
15. Caniggia C, Amor M, Lowenstein Haber D, Alasia D, Galello M, Darú V, et al. Factibilidad y aportes del análisis de la deformación longitudinal 2D global y regional durante el eco estrés con ejercicio. *Rev Argent Cardiol* 2014;82:126-32.
16. Uusitalo V, Luotolahti M, Pietilä M, Wendelin-Saarenhovi M, Hartiala J, Saraste M, et al. Two-Dimensional Speckle-Tracking during Dobutamine Stress Echocardiography in the Detection of Myocardial Ischemia in Patients with Suspected Coronary Artery Disease. *J Am Soc Echocardiogr* 2016;29:470-9. <http://doi.org/f8kzxf>
17. Govind SC, Gopal AS, Netyö A, Nowak J, Brodin LA, Patrianakos A, et al. Quantification of low-dose dobutamine stress using speckle tracking echocardiography in coronary artery disease. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:607-12. <http://doi.org/cv28sh>
18. Cusmà Piccione M, Zito C, Khandheria B, Madaffari A, Oteri A, et al. Cardiovascular maladaptation to exercise in young hypertensive patients. *Int J Cardiol* 2017;232:280-8. <http://doi.org/gbhfsk>
19. Sugimoto T, Bandera F, Generati G, Alfonzetti E, Bussadori C, Guazzi M. Left Atrial Function Dynamics During Exercise in Heart Failure. *JACC Cardiovasc Imaging* 2017;10:1253-64. <http://doi.org/chnq>
20. Oh JK, Park SJ, Nagueh SF. Established and novel clinical appli-

cations of diastolic function assessment by echocardiography. *Circ Cardiovasc Imaging* 2011;4:444-55. <http://doi.org/fkhtp2>

21. Deschle H, Gantesti J, Culaciati G, Casso No, Alfie L, Gingsins M, et al. Análisis de la deformación auricular longitudinal: alteraciones precoces en hipertensos jóvenes controlados. *Rev Argent Cardiol* 2014;82:126-32.

22. Cameli M, Caputo M, Mondillo S, Ballo P, Palmerini E, Lisi M, et al. Feasibility and reference values of left atrial longitudinal strain imaging by twodimensional speckle tracking. *Cardiovasc Ultrasound* 2009;7:6. <http://doi.org/b5c9vc>.

23. Lancellotti P, Pellikka PA, Budts W, Chaudhry FA, Donal E, Dulgheru R, et al. The clinical use of stress echocardiography in non-ischaemic heart disease: recommendations from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2016;17:1191-229. <http://doi.org/chnn>

24. Burgess MI, Jenkins C, Sharman JE, Marwick TH. Diastolic stress echocardiography: hemodynamic validation and clinical significance of estimation of ventricular filling pressure with exercise. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:1891-900. <http://doi.org/fgbf7g>

25. Leung M, Phan V, Whatmough M, Heritier S, Wong VW, Leung DY. Left ventricular diastolic reserve in patients with type 2 diabetes mellitus. *Open Heart* 2015;2:e000214. <http://doi.org/chnm>

26. Kusunose K, Motoki H, Popovic ZB, Thomas JD, Klein AL, Marwick TH. Independent association of left atrial function with exercise capacity in patients with preserved ejection fraction. *Heart* 2012;98:1311-7. <http://doi.org/f36348>

27. Holland DJ, Prasad SB, Marwick TH. Prognostic implications of left ventricular filling pressure with exercise. *Circ Cardiovasc Imaging* 2010;3:149-56. <http://doi.org/c35zrh>

28. Ha JW, Oh JK, Pellikka PA, Ommen SR, Stussy VL, Bailey KR, et al. Diastolic stress echocardiography: a novel noninvasive diagnostic test for diastolic dysfunction using supine bicycle exercise. Doppler echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:63-8. <http://doi.org/ctvg64>

29. Mondillo S, Cameli M, Caputo ML, Lisi M, Palmerini E, Padeletti M, et al. Early detection of left atrial strain abnormalities by speckle-tracking in hypertensive and diabetic patients with normal left atrial size. *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24:898-908. <http://doi.org/czr2w2>

30. Tan YT, Wenzelburger F, Lee E, Heatlie G, Leyva F, Patel K, et al. The pathophysiology of heart failure with normal ejection fraction: exercise echocardiography reveals complex abnormalities of both systolic and diastolic ventricular function involving torsion, untwist, and longitudinal motion. *J Am Coll Cardiol* 2009;54:36-46. <http://doi.org/bttghk>

31. Szymczyk E, Lipiec P, Michalski B, Szymczyk K, Shim A, Woźniakowski B, et al. 2D speckle tracking echocardiography for the assessment of regional contractile reserve after myocardial infarction. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*. 2016;17:374-81. <http://doi.org/f8f43c>

32. Lafitte S, Perlant M, Reant P, Serri K, Douard H, DeMaria A, et al. Impact of impaired myocardial deformations on exercise tolerance and prognosis in patients with asymptomatic aortic stenosis. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:414-9. <http://doi.org/cr83pv>

33. Lancellotti P, Cosyns B, Zacharakis D, Attenua E, Van Camp G, Gach O, et al. Importance of left ventricular longitudinal function and functional reserve in patients with degenerative mitral regurgitation: assessment by two-dimensional speckle tracking. *J Am Soc Echocardiogr* 2008;21:1331. <http://doi.org/c88w77>