

## Relation estres-deformation (*strain*) de fin de sistole para evaluar la contractilidad del ventriculo izquierdo

DANIEL PINEIRO\*<sup>1</sup>, RICARDO MIGLIORE\*<sup>2</sup>, ROLANDO BRUNOLDI<sup>1</sup>, JOSE LUIS<sup>1</sup>, JORGE ROISINBLIT\*<sup>1</sup>, VERONICA VOLBERG<sup>1</sup>, OSCAR GROSSO<sup>1</sup>, JORGE LERMAN\*<sup>1</sup>§

### RESUMEN

Recientemente se describio un nuevo metodo no invasivo para evaluar la mecanica del ventriculo izquierdo (VI), independiente de su masa, que emplea el grosor parietal en relation con un parametro que refleja el volumen miocardico. Este metodo es una extension de otro, previamente descripto, que emplea la relación de la media aritmetica del estres parietal meridional y ecuatorial y una variable que reflejaria la deformacion:  $\ln(l/h)$ , donde  $\ln$  es el logaritmo natural y  $h$  representa el grosor parietal. El nuevo metodo utiliza el estres de fibra medio (EFM) y un indice de deformation natural del miocardio:  $\ln(h_0/h)$ , donde  $\ln$  es el logaritmo natural,  $h_0$  es el grosor de referencia y  $h$  es el grosor parietal instantaneo (o medido). Los propósitos del presente trabajo son: 1) evaluar la relation del EFM y del  $\ln(h_0/h)$  de fin de sistole con la geometria y con indices eyectivos de la funcion contractil del VI (el volumen minuto y la fraction de eyecion [FE]) y 2) comparar el  $\ln(h_0/h)$  con el  $\ln(1/h)$ , ambos de fin de sistole del VI. Se estudiaron 166 pacientes (media de la edad: 50 anos, rango: 12 a 83 anos; 104 mujeres) en ritmo sinusal, con imagenes ecocardiograficas adecuadas y sin anormalidades de la motilidad segmentaria por ecocardiografia bidimensional. El presente estudio mostro que: 1) el EFM y el  $\ln(h_0/h)$  de fin de sistole del VI se correlacionan con diversas variables de la geometria del VI, especialmente con el indice del volumen de fin de sistole del VI, 2) el EFM y el  $\ln(h_0/h)$  de fin de sistole del VI son independientes de la masa y del indice de masa del VI, 3) el EFM y el  $\ln(h_0/h)$  de fin de sistole del VI se correlacionan con la FE, 4) el  $\ln(h_0/h)$  en comparacion con el  $\ln(1/h)$  de fin de sistole del VI tiene menor amplitud de rango, 5) el  $\ln(1/h)$  de fin de sistole del VI se correlaciona con diferentes variables de la geometria del VI que el  $\ln(h_0/h)$  de fin de sistole del VI, en particular con la masa y con el indice de masa del VI, 6) el  $\ln(1/h)$  de fin de sistole del VI, al igual que el  $\ln(h_0/h)$ , se correlaciona con la FE y 7) el  $\ln(h_0/h)$  se correlaciona principalmente con la FE, mientras que el  $\ln(1/h)$  lo hace con el IMVI. REV ARGENT CARDIOL 2002; 70: 377-383.

**Palabras clave** Funcion ventricular - Ventriculo izquierdo - Ecoardiografia

---

Division de Cardiologia, Hospital de Clinicas "Jose de San Martin", Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup> Servicio de Cardiologia, Hospital General de Agudos "Eva Peron", Buenos Aires, Argentina

Miembro Titular SAC

Para optar a Miembro Titular SAC

<sup>1</sup> FACC, FAHA, FESC

<sup>f</sup> AFACC

<sup>i</sup> ACC

Trabajo recibido para su publication: 2/2002. Aceptado: 4/2002

Direction para separatas: Hospital de Clinicas "Jose de San Martin", Universidad de Buenos Aires, Argentina. Arenales 2463, Piso 2 "D" (1124) Buenos Aires, Argentina. e-mail: [dpineiro@intramed.net](mailto:dpineiro@intramed.net) ar

## INTRODUCCION

La evaluación de la función del ventrículo izquierdo (VI) requiere el examen de las tres fases del ciclo cardiaco: **contracción, relajación y distensibilidad**. (1) La **contracción** en particular puede evaluarse con el empleo de índices isovolumétricos, índices de la relación presión-volumen de fin de sístole, índices de la fase eyectiva e índices de la relación estrés-deformación (*strain*) de fin de sístole. (1) En la clínica los parámetros de función contractil del VI más utilizados son los de la fase eyectiva, como el volumen minuto (VM) y la fracción de eyección (FE), que expresan la función de bomba y la función de cámara del VI, respectivamente. (1, 2) Sin embargo, estos índices son dependientes de la carga. (1) En efecto, el VM es sensible tanto a la precarga como a la poscarga y la FE es especialmente sensible a la poscarga. (1) Mas aun, estos índices son poco útiles en el manejo de la insuficiencia cardiaca por su escasa relación con los síntomas y con la eficacia del tratamiento. (3, 4) Dadas estas limitaciones de los parámetros clásicos, ha continuado la investigación de índices que se aproximen al ideal de un índice de contractilidad del VI, es decir, que sean sensibles al estado inotrópico del corazón pero insensibles a las condiciones de carga, a la frecuencia cardiaca y a la geometría del VI. (1, 5-7) Los índices de función contractil derivados de la relación estrés-deformación (*strain*) de fin de sístole tienen la ventaja de ser relativamente independientes de las cargas. (8-16) Sin embargo, tienen la limitación de depender de la geometría del VI, en particular de su tamaño y masa. (1, 11-13) Recientemente se describió un nuevo método no invasivo para evaluar la mecánica del VI, independiente de su masa, que emplea el grosor parietal en relación con un parámetro que refleja el volumen miocárdico. (17, 18) Los resultados comunicados con este método sugieren que, a pesar de ser un método no invasivo, sería útil para detectar cambios en la mecánica del VI que no se detectan por otros métodos. (17, 18)

El método al que aquí se hace referencia es una extensión de otro previamente descrito para la evaluación de la función contractil global y regional del VI. (11-15) El método anterior, descrito por Nakano y colaboradores, emplea la relación de la media aritmética del estrés parietal meridional y ecuatorial y una variable que reflejaría la deformación:  $\ln(1/h)$ , donde  $\ln$  es el logaritmo natural y  $h$  representa el grosor parietal. (11-13) El nuevo método, descrito por Denslow y colaboradores, emplea el estrés de fibra medio (EFM) y un índice de deformación natural del miocardio:  $\ln(h_0/h)$ , donde  $\ln$  es el logaritmo natural,  $h_0$  es el grosor de

referencia y  $h$  es el grosor parietal instantáneo (o medido). (17, 18) Esta metodología se ha publicado en detalle. (17, 18) Brevemente, los pacientes con peor función contractil del VI tienen mayor estrés e índice de deformación (*strain*) natural  $[\ln(h_0/h)]$  de fin de sístole del miocardio. (18)

Los propósitos del presente trabajo son: 1) evaluar la relación del  $\ln(h_0/h)$  con la geometría del VI y con índices eyectivos de la función contractil (VM y FE) y 2) comparar el  $\ln(h_0/h)$  con el  $\ln(1/h)$ , ambos de fin de sístole del VI.

## MATERIAL Y METODOS

### Población

Se estudiaron 166 pacientes (media de la edad: 50 años, rango: 12 a 83 años) en ritmo sinusal, con imágenes ecocardiográficas adecuadas y sin anomalías de la motilidad segmentaria por ecocardiografía bidimensional, que fueron estudiados por diversas indicaciones clínicas en el Hospital de Clínicas "Jose de San Martín", Universidad de Buenos Aires.

### Examen ecocardiográfico

Todos los pacientes fueron examinados con ecocardiografía transtorácica bidimensional y en modo M guiado por bidimensional con un equipo de ecocardiografía Apogee CX 200 (Advanced Technology Laboratories, Bothell, Wash, Estados Unidos). Los registros se realizaron con un transductor de 2,5 MHz desde las ventanas paraesternal izquierda y apical. Se midieron los diámetros diastólico (DD) y sistólico (DS) del VI y los grosores parietales de fin de diástole del septum interventricular (SIVD) y de la pared posterior (PPD) de acuerdo con la convención de los bordes principales. (19) Los diámetros ventriculares y los grosores parietales se normalizaron por la talla. El grosor parietal en diástole (GPD) se calculó como  $GPD = (SIVD + PPD) / 2$ . El grosor parietal relativo del VI (GPR) se calculó como  $GPR = GPD / DDVI$ . (20) La masa del VI (MVI) se calculó de acuerdo con las recomendaciones de la Sociedad Americana de Ecocardiografía. (21) Los volúmenes de fin de diástole (VFD) y de sístole (VFS) y la FE se estimaron con el método de Teichholz. (22) El volumen sistólico (VS) se calculó como  $VS = VFD - VFS$  y el VM se calculó como  $VM = VS \times$  frecuencia cardiaca. MVI, VFS, VFD, VS y VM se indexaron (I) por la superficie corporal. La tensión arterial se registró con esfigmomanómetro de acuerdo con la técnica habitual. El EFM y el  $\ln(h_0/h)$  de fin de sístole se calcularon con el empleo del método descrito por Denslow y colaboradores. (17, 18) El  $\ln(1/h)$  se calculó con el método descrito por Nakano y colaboradores. (11-13)

### Análisis estadístico

Las variables continuas se expresaron como media  $\pm$  desvío estándar (DE). Se realizó análisis univariado y multivariado (*forward stepwise regression*). Se utilizó el programa Statistica 4.1, StatSoft, Tulsa, OK, Estados Unidos. La coincidencia entre los métodos se evaluó mediante el análisis de Bland y Altman. (23, 24)

**RESULTADOS**

Las características clínicas de la población fueron: edad:  $50 \pm 12$  años, 62 hombres, tensión arterial sistólica  $151 \pm 19$  mm Hg, tensión arterial diastólica  $94 \pm 9$  mm Hg, frecuencia cardíaca  $79 \pm 10$  lat/min, peso  $71 \pm 15$  kg y talla  $165 \pm 9$  cm. Los diagnósticos clínicos fueron: normal en 11 pacientes, hipertensión arterial en 93, insuficiencia cardíaca en 23, valvulopatías en 31 y otros diagnósticos en 8. En la Tabla 1 se resumen las características ecocardiográficas de la población.

El EFM de fin de sístole del VI fue de  $148 \pm 26$  g/cm<sup>2</sup> (rango: 90-221) y el  $\ln(h_o/h)$  de fin de sístole del VI fue de  $0,73 \pm 0,09$  (rango: 0,46-0,95).

La Figura 1 muestra la relación EFM -  $\ln(h_o/h)$  de fin de sístole del VI.

**Tabla 1**  
**Características ecocardiográficas de la población**

|                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| DDVI (mm/m)                 | $29 \pm 2,8$      |
| DSVI (mm/m)                 | $17 \pm 2,9$      |
| SIVD (mm/m)                 | $7 \pm 1$         |
| PPD (mm/m)                  | $9 \pm 2$         |
| MVI (g)                     | $176 \pm 60$      |
| IMVI (g/m <sup>2</sup> )    | $99 \pm 30$       |
| GPR                         | $0,42 \pm 0,08$   |
| IVFDVI (ml/m <sup>2</sup> ) | $67 \pm 20$       |
| IVFSVI (mUm <sup>2</sup> )  | $14 \pm 8$        |
| IVSVI (ml/m <sup>2</sup> )  | $53 \pm 14$       |
| IVM (mUm <sup>2</sup> /m)   | $4.153 \pm 1.211$ |
| FA(%)                       | $41 \pm 7$        |
| FE (%)                      | $79 \pm 7$        |

Los datos son media  $\pm$  DE.

DDVI: diámetro diastólico del ventrículo izquierdo. DSVI: diámetro sistólico del ventrículo izquierdo. FA: fracción de acortamiento. FE: fracción de eyección. GPR: grosor parietal relativo. IMVI: índice de masa del ventrículo izquierdo. IVFDVI: índice del volumen de fin de diástole del ventrículo izquierdo. IVFSVI: índice del volumen de fin de sístole del ventrículo izquierdo. IVM: índice del volumen minuto. MVI: masa del ventrículo izquierdo. PPD: pared posterior en diástole. SIVD: septum interventricular en diástole.

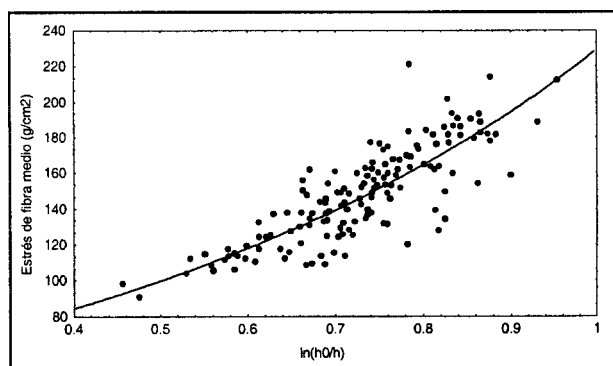


Fig. 1. Relación entre el  $\ln(h_o/h)$  y el estrés de fibra medio de fin de sístole del VI ( $R = 0,55$ ,  $p < 0,001$ ).

El EFM y el  $\ln(h_o/h)$  de fin de sístole del VI se correlacionaron en forma positiva con el DDVI, el DSVI, el IVFDVI y el IVFSVI y en forma negativa con el SIVD, la PPD, el GPR, la FA y la FE (Tabla 2). En la Tabla 3 se muestra que, en el análisis multivariado, la FE y el IVFDVI son las variables independientes del EFM y que la FE, el IVFDVI y el IVFSVI son variables independientes del  $\ln(h_o/h)$  de fin de sístole del VI.

**Tabla 2**  
**Análisis univariado del estrés de fibra medio y del  $\ln(h_o/h)$  de fin de sístole del VI**

|                             | EFM (g/cm <sup>2</sup> ) |         | $\ln(h_o/h)$ |         |
|-----------------------------|--------------------------|---------|--------------|---------|
|                             | R                        | P       | R            | P       |
| DDVI (mm/m)                 | 0,29                     | < 0,001 | 0,33         | < 0,001 |
| DSVI (mm/m)                 | 0,68                     | < 0,001 | 0,76         | < 0,001 |
| SIVD (mm/m)                 | -0,24                    | 0,02    | -0,40        | < 0,001 |
| PPD (mm/m)                  | -0,17                    | 0,03    | -0,45        | < 0,001 |
| MVI (g)                     | -0,02                    | NS      | -0,08        | NS      |
| IMVI (g/m <sup>2</sup> )    | -0,01                    | NS      | -0,12        | NS      |
| GPR                         | -0,44                    | < 0,001 | -0,63        | < 0,001 |
| IVFDVI (mUm <sup>2</sup> )  | 0,33                     | < 0,001 | 0,39         | < 0,001 |
| IVFSVI (ml/m <sup>2</sup> ) | 0,61                     | < 0,001 | 0,67         | < 0,001 |
| IVSVI (ml/m <sup>2</sup> )  | 0,08                     | NS      | 0,14         | NS      |
| IVM (ml/m <sup>2</sup> /m)  | 0,08                     | NS      | 0,13         | NS      |
| FA (%)                      | -0,73                    | < 0,001 | -0,82        | < 0,01  |
| FE (%)                      | -0,74                    | < 0,001 | -0,80        | < 0,01  |

DDVI: diámetro diastólico del ventrículo izquierdo. DSVI: diámetro sistólico del ventrículo izquierdo. FA: fracción de acortamiento. FE: fracción de eyección. GPR: grosor parietal relativo. IMVI: índice de masa del ventrículo izquierdo. IVFDVI: índice del volumen de fin de diástole del ventrículo izquierdo. IVFSVI: índice del volumen de fin de sístole del ventrículo izquierdo. IVM: índice del volumen minuto. MVI: masa del ventrículo izquierdo. PPD: pared posterior en diástole. SIVD: septum interventricular en diástole.

**Tabla 3**  
**Análisis multivariado (stepwise multivariate analysis) para el estrés de fibra medio (modelo: IVFDVI, IVFSVI, FE) y para el  $\ln(h_o/h)$  de fin de sístole del VI (modelo: IVFDVI, IVFSVI, FE)**

| $EFM = 349 - 2,6797 FE + 0,1577 IVFDVI$                               |         |                            |       |           |
|---|---------|----------------------------|-------|-----------|
| Variables   | $\beta$ | R <sup>2</sup> parcial (%) | F     | P         |
| FE  | -0,70   | 55                         | 195,4 | < 0,00001 |
| IVFDVI  | 0,12    | 1                          | 4,7   | 0,03      |
| $\ln(h_o/h) = 1,66 - 0,012619 FE + 0,001803 IVFDVI - 0,003944 IVFSVI$ |         |                            |       |           |
| Variables   | $\beta$ | R <sup>2</sup> parcial (%) | F     | P         |
| FE  | -0,96   | 64                         | 288,2 | < 0,00001 |
| IVFDVI  | 0,39    | 3                          | 12,3  | 0,0006    |
| IVFSVI  | -0,37   | 1                          | 5,4   | 0,02      |

EMF: estrés de fibra medio. FE: fracción de eyección. IVFDVI: índice del volumen de fin de diástole del ventrículo izquierdo. IVFSVI: índice del volumen de fin de sístole del ventrículo izquierdo.

El  $\ln(11h)$  de fin de sistole del VI fue de  $-0,43 \pm 0,15$  (rango:  $-0,89-0,01$ ).

La amplitud del rango  $\text{del} \ln(hjh)$  de fin de sistole del VI fue de  $0,49$  y la del  $\ln(1/h)$  fue de  $0,90$ .

La Figura 2 muestra la relation EFM  $-\ln(11h)$  de fin de sistole del VI.

El  $\ln(hjh)$  de fin de sistole, a diferencia del  $\ln(1/h)$  de fin de sistole, fue independiente de la MVI, del IMVI, del IVSVI y del IVMVI. El  $\ln(hjh)$  de fin de sistole tuvo correlation con el DSVI y con el IVFSVI, mientras que el  $\ln(11h)$  de fin de sistole fue independiente de estas variables (Tabla 4). La MVI se

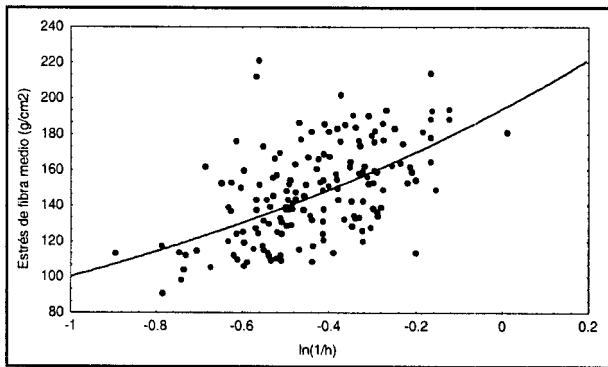


Fig. 2. Relation entre el  $\ln(1/h)$  y el estres de fibra medio de fin de sistole del VI ( $R = 0,83, p < 0,001$ )

**Tabla 4**  
Análisis univariado de los  $\ln(hc/h)$  y  $\ln(1/h)$  de fin de sistole del VI

|                             | $\ln(h_o/h)$ |         | $\ln(1/h)$ |         |
|-----------------------------|--------------|---------|------------|---------|
|                             | R            | P       | R          | p       |
| DDVI (mm/m)                 | 0,33         | < 0,001 | 0,19       | 0,02    |
| DSVI (mm/m)                 | 0,76         | < 0,001 | 0,12       | NS      |
| SIVD (mm/m)                 | -0,40        | < 0,001 | -0,76      | < 0,01  |
| PPD (mm/m)                  | -0,45        | < 0,001 | -0,78      | < 0,01  |
| MVI (g)                     | -0,08        | NS      | -0,75      | < 0,01  |
| IMVI (g/m <sup>2</sup> )    | -0,12        | NS      | -0,73      | < 0,001 |
| GPR                         | -0,63        | < 0,001 | -0,72      | < 0,001 |
| IVFDVI (ml/ma)              | 0,39         | < 0,001 | -0,17      | 0,03    |
| IVFSVI (ml/m <sup>2</sup> ) | 0,67         | < 0,001 | 0,07       | NS      |
| IVSVI (ml/m <sup>2</sup> )  | 0,14         | NS      | 0,28       | < 0,001 |
| IVM (ml/m <sup>2</sup> /m)  | 0,13         | NS      | -0,20      | < 0,01  |
| FA (%)                      | -0,82        | < 0,01  | -0,34      | < 0,001 |
| FE (%)                      | -0,80        | < 0,01  | -0,32      | < 0,001 |

DDVI: diametro diastolico del ventriculo izquierdo. DSVI: diametro sistolico del ventriculo izquierdo. FA: fraction de acortamiento. FE: fraction de eyeccion. GPR: grosor parietal relativo. IMVI: indice de masa del ventriculo izquierdo. IVFDVI: indice del volumen de fin de diastole del ventriculo izquierdo. IVFSVI: indice del volumen de fin de sistole del ventriculo izquierdo. IVM: indice del volumen minuto. MVI: masa del ventriculo izquierdo. PPD: pared posterior en diastole. SIVD: septum interventricular en diastole.

correlation con  $\ln(hjh)$  y  $\ln(11h)$  de fin de sistole del VI ( $R = 0,08, p = \text{NS}; R = -0,72, p < 0,001$ , respectivamente). Tambien la FE se correlation con  $\ln(hjh)$  y  $\ln(1/h)$  de fin de sistole del VI ( $R = -0,80, p < 0,01; R = -0,32, p < 0,001$ , respectivamente).

En la Tabla 5 puede observarse que en el analisis multivariado el IMVI, la FE y el IVFDVI son variables independientes del  $\ln(1/h)$  de fin de sistole.

El  $\ln(hjh)$  y  $\ln(1/h)$  de fin de sistole se correlacionaron mutuamente (Figura 3). La coincidencia entre ambos se evaluo mediante el analisis de Bland y Altman. El error sistematico fue de  $1,16$  y la variabilidad entre ambos de  $2DE = \pm 0,22$ .

**DISCUSION**

Este trabajo corrobora la relation, estadisticamente significativa, entre el EFM y el  $\ln(hjh)$  de fin de sistole del VI, como lo describieron Denslow y colaboradores. (17, 18) Esta relation serfa un parametro de suma utilidad para evaluar con precision la mecanica del VI. Desde el punto de vista teorico tendria la ventaja de requerir solo un punto (o latido), a diferencia de otros parametros, como la relation presion-volumen de fin

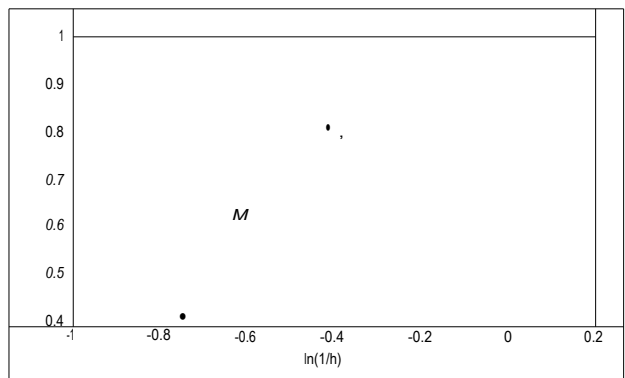


Fig. 3. Relation del  $\ln(1/h)$  y el  $\ln(h_o/h)$  de fin de sistole del VI ( $R = 0,69, p < 0,001$ ).

**Tabla 5**  
Análisis multivariado (stepwise multivariate analysis) para el  $\ln(11h)$  de fin de sistole del VI (modelo: IVFDVI, IMVI, IVM, FE)

| $\ln(1/h) = 0,63 - 0,005788 \text{ IMVI} - 0,009328 \text{ FE} + 0,003713 \text{ IVFDVI}$ |       |                            |       |           |
|---|-------|----------------------------|-------|-----------|
| Variables   | P     | R <sup>2</sup> parcial (%) | F     | p         |
| IMVI  | -1,14 | 53                         | 183,9 | < 0,00001 |
| FE  | -0,42 | 24                         | 163,6 | < 0,00001 |
| IVFDVI  | 0,48  | 11                         | 164,3 | < 0,00001 |

FE: fraction de eyeccion. IMVI: indice de masa del ventriculo izquierdo. IVFDVI: indice del volumen de fin de diastole del ventriculo izquierdo. IVM: indice del volumen minuto.

de sistole o el trabajo sistolico reclutable con precarga, que hacen imprescindible varios puntos (latidos) modificando las cargas y que son sensibles a los cambios en la frecuencia cardiaca. (18, 28-31) Ademas, otros parametros no invasivos, como la fraction de acortamiento, la velocidad de acortamiento circunferencial (VAC) y la VAC corregida, se normalizan con variables cuantitativas. (9, 32) Por el contrario, en el metodo de Denslow y colaboradores, el  $\ln(hjh)$  de fin de sistole del VI se normaliza con una constante, el EFM de fin de sistole del VI, que serfa independiente de los cambios de forma del VI. (17, 18, 33) En la practica, la relation EFM -  $\ln(hjh)$  de fin de sistole del VI es superior a la fraction de acortamiento y a la VAC para detectar deterioro de la contractilidad miocardica en modelos en animales. (18)

Se verifico tambien que tanto el EFM como el  $\ln(hjh)$  de fin de sistole del VI fueron independientes de la MVI incluso en circunstancias como las del presente estudio, que tuvo una variation mayor de 7 veces. Ello es coincidente con la publicacion de Denslow y colaboradores, quienes senalan el valor potencial de este metodo en pacientes cuya MVI varia con el tiempo, como sucede, por ejemplo, en los ninos. (18) Tambien seria de utilidad para comparar pacientes de diferente tamaño corporal y pacientes a diferente edad. (18) Mas aun, en el presente estudio el EFM y el  $\ln(hlh)$  de fin de sistole del VI resultaron independientes del IMVI. Denslow y colaboradores sostienen que, al referir el grosor parietal,  $h$ , a un grosor parietal calculado para un volumen del VI = 0,  $h_0$ , es decir, al volumen miocardico (equivalente a la MVI), tambien se logra independencia de las dimensiones de fin de diastole del VI. (11-13, 17, 18, 25, 26) Sin embargo, en el analisis univariado se puso en evidencia la relation positiva, tanto del EFM como  $\ln(h_0lh)$  de fin de sistole del VI, con el DDVI, el DSVI, el IVFDVI y el IVFSVI y en forma negativa el SIVD, la PPD y el GPR. En el analisis multivariado se observo que el EFM depende del IVFDVI y que el  $\ln(hjh)$  de fin de sistole del VI dependen del IVFDVI y del IVFSVI. De manera que puede afirmarse que esta dupla de parametros no seria totalmente independiente de la geometria del VI. Desde el punto de vista clinico resulta importante la relation significativa del EFM y del  $Wh_0/h$  de fin de sistole del VI con la FE que haria relativa su utilidad practica, ya que la information que brinda podria suplirse simplemente con la consideracion de la FE y de la tension arterial sistolica. Ello coincide con la opinion de von Spiegel y colaboradores, quienes sostienen que en la FE seria un parametro clinico apropiado para evaluar la contractilidad miocardica en las condiciones de

precarga y poscarga habituales. (27) Sin embargo, como se senalo, la relation del EFM y del  $\ln(hjh)$  de fin de sistole del VI fue superior a parametros fraccionales eyectivos para detectar deterioro de la contractilidad miocardica. (18)

La correlation en el analisis univariado como en el multivariado del EFM y del  $\ln(h_0/h)$  de fin de sistole del VI con el IVFDVI indica cierta dependencia de ellos con las condiciones de precarga del VI. Esto limitaria la utilidad del metodo que deberia ser relativamente independiente de la carga. Sin embargo, en el mismo analisis multivariado, los RI parciales (1% y 3%, respectivamente) muestran que, con el modelo empleado, el IVFDVI tiene solo una importancia menor como determinante tanto del EFM como del  $\ln(hjh)$  de fin de sistole del VI.

Cuando se compararon el  $\ln(hjh)$  y el  $\ln(1/h)$  de fin de sistole del VI, se encontro que el rango del primero es inferior al del segundo, lo cual coincide con trabajos previos. (17, 18) El  $\ln(h_0/h)$ , a diferencia de  $\ln(1/h)$ , es independiente de la MVI, del IMVI, del IVSVI y del IVMVI. Sin embargo, el  $\ln(h_0/h)$  tuvo correlation con el DSVI y con el IVFSVI, mientras que el  $\ln(1/h)$  es independiente de estas variables. Cuando se consideraron solo las variables geometricas del VI, el principal determinante del  $\ln(hjh)$  es el IVFSVI y el del  $\ln(1/h)$  el IMVI. Cuando en el modelo de regresion se consideraron las variables geometricas y los indices eyectivos, el principal determinante del  $\ln(h_0/h)$  paso a ser la FE, mientras que el principal determinante del  $\ln(1/h)$  siguio siendo el IMVI.

La coincidencia entre ambos indices fue escasa, lo cual pone en evidencia que ambos metodos no son comparables.

### Limitaciones del trabajo

La mayor limitation de este estudio es el calculo del EFM de fin de sistole, de  $h$  y de  $h_0$  en forma no invasiva, a partir de ecuaciones que pueden introducir errores significativos. Sin embargo, los metodos que se utilizan estan suficientemente validados. (11-13, 17, 18)

El calculo de volúmenes, de la MVI y del IMVI tiene limitaciones tecnicas, ya descriptas. (21, 22)

La estimation de la presion de fin de sistole como la presion media calculada tambien es una fuente potencial de error, aunque se ha demostrado que no introduce un sesgo sistematico. (14, 18, 34)

Por otra parte, los pacientes se ban evaluado en una mica situation de carga, lo cual constituye una limitation. En base a los trabajos previos de Denslow y colaboradores, es de suponer que en el caso hipotetico de cambios en la carga la relation EFM -  $\ln(hjh)$  de fin de sistole del VI no se modificaria significativamente. Mas aun, el me-

todo tendria la citada ventaja de requerir solo un punto (o latido). (17, 18)

## CONCLUSIONES

El presente estudio mostro que:

1. El EFM y el  $\ln(hJh)$  de fin de sistole del VI se correlacionan con diversas variables de la geometria del VI, especialmente con el IVFSVI.
2. El EFM y el  $\ln(hJh)$  de fin de sistole del VI son independientes de la masa y del indice de masa del VI.
3. El EFM y el  $\ln(hjh)$  de fin de sistole del VI se correlacionan con la FE.
4. El  $\ln(hjh)$  en comparacion con el  $\ln(1/h)$  de fin de sistole del VI tiene menor amplitud de rango.
5. El  $\ln(1/h)$  de fin de sistole del VI se correlaciona con diferentes variables de la geometria del VI que el  $\ln(hjh)$  de fin de sistole del VI, en particular con la masa y con el indice de masa del VI.
6. El  $\ln(1/h)$  de fin de sistole del VI, al igual que el  $\ln(hjh)$ , se correlaciona con la FE.
7. El  $\ln(hjh)$  se correlaciona principalmente con la FE, mientras que el  $\ln(1/h)$  se correlaciona principalmente con el IMVI.

## SUMMARY

### END-SYSTOLIC STRESS-STRAIN RELATIONSHIP TO ASSESS LEFT VENTRICULAR CONTRACTILITY

**A recent report describes a new non-invasive method, independent of left ventricular (LV) mass, to assess LV mechanics. The method uses wall thickness referred to myocardial volume. This is an extension of a previously described method. The earlier method employed the arithmetic mean of meridional and equatorial wall stress with a strain-like variable:  $\ln(1/h)$ , where  $\ln$  represents the natural logarithm, and  $h$  represents the wall thickness. The new method uses mean fiber stress and an index of natural strain of the myocardium:  $\ln(h_0/h)$ , where  $\ln$  is the natural logarithm,  $h_0$  is the reference thickness, and  $h$  the instantaneous (measured) wall thickness. The aims of the present study are: 1) To assess the relation between LV end-systolic fiber stress- $\ln(h_0/h)$  and LV geometry and ejection indexes (cardiac output and ejection fraction), and 2) To compare LV end-systolic  $\ln(hjh)$  with LV end-systolic  $\ln(1/h)$ . We studied 166 patients (mean age: 50 years; range: 12-83 years) in sinus rhythm, with adequate apical echocardiographic images, and no segmental wall motion abnormalities by standard 2-dimensional**

**echocardiography. We conclude that: 1) LV end-systolic fiber stress and  $\ln(h_0/h)$  are correlated with left ventricular geometry, specially with LV end-systolic volume; 2) LV end-systolic fiber stress and  $\ln(hjh)$  are not correlated with LV mass or with LV mass index; 3) LV end-systolic fiber stress and  $\ln(hjh)$  are correlated with ejection fraction; 4) LV end-systolic  $\ln(hjh)$  has a narrower range than LV end-systolic  $\ln(1/h)$ ; 5) LV end-systolic  $\ln(1/h)$  is correlated with LV geometry, specially with LV mass and LV mass index; 6) Like LV end-systolic  $\ln(h_0/h)$ , LV end-systolic  $\ln(1/h)$  is correlated with LV ejection fraction; 7)  $\ln(h_0/h)$  is mainly correlated with ejection fraction;  $\ln(1/h)$  is mainly correlated with LV mass index.**

**Key words:** Left ventricular function - Left ventricle - Echocardiography

## Agradecimiento

Los autores agradecen a la Sra. Mercedes Ojea por la asistencia de secretaria.

## BIBLIOGRAFIA

1. Schertel ER. Assessment of left-ventricular function. Thorac Cardiovasc Surg 1998; 46: 248-254.
2. Sadler DB, Aurigemma GP, Williams DW y col. Systolic function in hypertensive men with concentric remodeling. Hypertension 1997; 30: 777-781.
3. Cohn JN. The management of chronic heart failure. N Engl J Med 1996; 335: 490-498.
4. Ertl G, Kochsiek K. Development, early treatment, and prevention of heart failure. Introduction. Circulation 1993; 87: IV1-IV3.
5. Asanoi H, Kameyama T, Ishizaka S y col. Energetically optimal left ventricular pressure for the failing human heart. Circulation 1996; 93: 67-73.
6. Katz AM. Cardiomyopathy of overload. A major determinant of prognosis in congestive heart failure. N Engl J Med 1990; 332: 100-110.
7. Pouleur H, Rousseau MF, van Eyll C y col. Cardiac mechanics during the development of heart failure. SOLVD Investigators. Circulation 1993; 87: IV14-20.
8. Ben-Sira D, Sagiv M, Werber G y col. Comparison between end-systolic pressure-volume and end-systolic wall stress in determining left ventricular contractility with increased afterload. Cardiology 1992; 81: 69-74.
9. Colan SD, Borow KM, Neumann A. Left ventricular end-systolic wall stress-velocity of fiber shortening relation: A load-independent index of myocardial contractility. J Am Coll Cardiol 1984; 4: 715-724.
10. Municino A, de Simone G, Roman MJ y col. Assessment of left ventricular function by meridional and circumferential end-systolic stress/minor-axis shortening relations in dilated cardiomyopathy. Am J Cardiol 1996; 78: 544-549.
11. Nakano K, Sugawara M, Ishihara K y col. Myocardial stiffness derived from end-systolic wall stress and logarithm of reciprocal of wall thickness. Contractility index independent of ventricular size. Circulation 1990; 82:1352-1361.

12. Nakano K, Sugawara M, Kato T y col. Regional work of the human left ventricle calculated by wall stress and the natural logarithm of reciprocal of wall thickness. *J Am Coll Cardiol* 1988; 12: 1442-1448.
13. Nakano K, Sugawara M, Tamiya K y col. A new approach to defining regional work of the ventricle and evaluating cardiac function: Mean wall stress-natural logarithm of reciprocal of wall thickness relationship. *Heart Vessels* 1986; 2: 74-80.
14. Rowland DG, Gutgesell HP. Use of mean arterial pressure for noninvasive determination of left ventricular end-systolic wall stress in infants and children. *Am J Cardiol* 1994; 74: 98-99.
15. Sugawara M, Tamiya K, Nakano K. Regional work of the left ventricle: Wall tension-area relation. *Heart Vessels* 1985; 1: 133-144.
16. Sugawara M, Nakano K. A method of analyzing regional myocardial function: Mean wall stress-area strain relationship. *Jpn Circ J* 1987; 51: 120-124.
17. Denslow S, Balaji S, Hewett KW. Wall thickness referenced to myocardial volume: A new noninvasive framework for cardiac mechanics. *J Appl Physiol* 1999; 87: 211-221.
18. Denslow S, Balaji S, Hewett KW. A new framework for echocardiographic assessment of left ventricular mechanics: Sensitivity to heart failure. *J Am Soc Echocardiogr* 2000; 13: 969-979. Correction. *J Am Soc Echocardiogr* 2001; 14: 148.
19. Sahn DJ, De Maria A, Kisslo J y col. Recommendations regarding quantitation in M-mode echocardiography: Results of a survey of echocardiographic measurements. *Circulation* 1978; 58: 1072-1083.
20. Devereux RB, Roman MJ. Evaluation of cardiac and vascular structure by echocardiography and other noninvasive techniques. En: Laragh JH, Brenner BM, editors. *Hypertension: Pathophysiology, diagnosis, treatment*. 2<sup>da</sup> ed. New York: Raven Press; 1995. p. 1969-1985.
21. Devereux RB, Alonso DR, Lutas EM y col. Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy: Comparison to necropsy findings. *Am J Cardiol* 1986; 57: 450-458.
22. Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV y col. Problems in echocardiographic volume determinations: Echocardiographic-angiographic correlations in the presence of absence of asynergy. *Am J Cardiol* 1976; 37: 7-11.
23. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1: 307-310.
24. Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res* 1999; 8:135-160.
25. Aversano T, Maughan WL, Hunter WC y col. End-systolic measures of regional ventricular performance. *Circulation* 1986; 73: 938-950.
26. Osakada G, Hess OM, Gallagher KP y col. End-systolic dimension-wall thickness relations during myocardial ischemia in conscious dogs. *Am J Cardiol* 1983; 51: 1750-1758.
27. von Spiegel T, Wietasch G, Hoesft A. Basics of myocardial pump function. *Thorac Cardiovasc Surg* 1998; 46: 237-241.
28. Feneley MP, Skelton TN, Kisslo KB y col. Comparison of preload recruitable stroke work, end-systolic pressure-volume and dP/dtmax-end-diastolic volume relations as indexes of left ventricular contractile performance in patients undergoing routine cardiac catheterization. *J Am Coll Cardiol* 1992; 19: 1522-1530.
29. Glower DD, Spratt JA, Snow ND y col. Linearity of the Frank-Starling relationship in the intact heart: The concept of preload recruitable stroke work. *Circulation* 1985; 71: 944-1009.
30. Sagawa K. The end-systolic pressure-volume relation of the ventricle: Definition, modifications and clinical use. *Circulation* 1981; 63: 1223-1227.
31. 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: 314-322.
32. Carabello BA, Spann JF. The uses and limitations of end-systolic indexes of left ventricular function. *Circulation* 1984; 69: 1058-1064.
33. Arts T, Veenstra PC, Reneman RS. Epicardial deformation and left ventricular wall mechanics during ejection in the dog. *Am J Physiol* 1982; 243: H379-H390.
34. Rozich JD, Carabello BA, Usher BW y col. Mitral valve replacement with and without chordal preservation in patients with chronic mitral regurgitation. *Circulation* 1992; 86: 1718-1726.