

Artículos originales

Evaluación del llenado del ventrículo izquierdo por Doppler color en modo M del flujo anterógrado mitral

DANIEL PIÑEIRO^Δ, RENE MONTECCHIESI, CRISTIAN TIANO*, SUSANA LUJAN, CLOTILDE S. BERENSHTEIN^Δ, JORGE LERMAN^Δ

Servicio de Cardiología, Sanatorio Jockey Club, y División Cardiología y Sección de Asesoría Científica, Hospital de Clínicas José de San Martín, Buenos Aires

* Para optar a Miembro Titular de la Sociedad Argentina de Cardiología

Trabajo recibido para su publicación: 11/96 Aceptado: 3/97

Dirección para separatas: Dr. Daniel Piñeiro, Corrientes 4601, Piso 15, (1195) Buenos Aires, Argentina

^Δ Miembro Titular SAC

[°] FACC

Antecedentes

Se estudiaron 87 pacientes consecutivos con el objetivo de determinar la relación de índices de progresión intraventricular del flujo anterógrado mitral, evaluado mediante Doppler color en modo M con variables clínicas, ecocardiográficas y del flujo anterógrado mitral evaluado mediante Doppler pulsado.

Material y método

Se midió el diámetro diastólico y sistólico del ventrículo izquierdo, el grosor del septum interventricular y de la pared posterior, la dimensión de la aurícula izquierda, la velocidad e integral del flujo precoz de llenado, la velocidad e integral del flujo tardío de llenado, el tiempo de desaceleración del llenado precoz y el tiempo de relajación isovolumétrica. Se calculó la fracción de acortamiento, el índice de masa del ventrículo izquierdo, las relaciones de velocidad e integral del flujo precoz de llenado y la velocidad e integral del flujo tardío de llenado, y el flujo pico normalizado. Mediante Doppler color en modo M se midió la velocidad inicial y total de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral y el retraso de base a ápex del mismo.

Resultados

La velocidad inicial y la total de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral no tuvieron correlación entre sí. La velocidad inicial del flujo anterógrado mitral no se correlacionó con el retraso de base a ápex del mismo. La velocidad total se correlacionó en forma negativa con el retraso de base a ápex. La velocidad inicial y la total y el retraso de base a ápex no fueron diferentes en ambos sexos. Tanto en el análisis univariable como en el multivariable, la velocidad inicial se correlacionó en forma positiva con la velocidad del flujo integral de llenado y con el flujo pico normalizado. En el análisis univariable, la velocidad total se correlacionó en forma negativa con la edad, con el grosor de la pared posterior, con el índice de masa del ventrículo izquierdo, con la velocidad e integral del flujo tardío de llenado y con el tiempo de desaceleración del llenado precoz, pero en el multivariable dependió sólo de la edad. En el análisis univariable, el retraso de base a ápex del flujo anterógrado mitral se correlacionó en forma positiva con la edad, con el diámetro diastólico y sistólico del ventrículo izquierdo, con el grosor del septum interventricular y de la pared posterior, con la dimensión de la aurícula izquierda, con el índice de masa del ventrículo izquierdo, con la velocidad e integral del flujo tardío de llenado y con el tiempo de desaceleración del llenado precoz y, en forma negativa, con la fracción de acortamiento; en el multivariable dependió del diámetro sistólico del ventrículo izquierdo y de la edad.

Conclusiones

El análisis de la progresión intraventricular del flujo transmitral, mediante Doppler color en modo M, sería un método útil para el análisis de fenómenos diastólicos. REV ARGENT CARDIOL 1997; 65 (6): 639-648.

Palabras clave Ecocardiografía - Diástole - Ventriculos

La ecocardiografía Doppler es un instrumento importante en el manejo de los pacientes con cardiopatía porque ofrece una evaluación no invasiva, segura e inmediata del llenado ventricular y de la función diastólica, como alternativa al cateterismo cardíaco. (1, 2) Aunque las presiones absolutas nunca pueden medirse directamente con el Doppler, esta metodología permite determinar la dirección y velocidad de los flujos sanguíneos que se corresponden con los registros hemodinámicos de presión y con las mediciones de las presiones diastólicas ventriculares. (3-11) El Doppler detecta diferencias en la función diastólica aun en pacientes con hallazgos similares en el ecocardiograma bidimensional, distingue entidades fisiopatológicas e incluso permite señalar la clase funcional y el pronóstico. (12-16)

Gran parte de la evaluación de la función diastólica del ventrículo izquierdo (VI) se basa en el análisis mediante el Doppler pulsado del flujo anterógrado mitral y de las venas pulmonares. (1, 16). Sin embargo, las mediciones de las velocidades con Doppler pulsado representan sólo la variación temporal de la velocidad a través del ciclo cardíaco obtenidas en un punto del espacio, el borde libre de las valvas de la válvula mitral o la desembocadura de las venas pulmonares. (17) El Doppler continuo no resuelve esas limitaciones porque mide la velocidad máxima en cualquier punto a lo largo del haz ultrasónico pero no discrimina en qué punto del haz se produce esta velocidad. (1, 17) El ecocardiograma bidimensional asociado con Doppler pulsado codificado con color (Doppler color bidimensional) combina información espacial bidimensional y de las velocidades dentro de las cavidades cardíacas. Si bien el Doppler color bidimensional es sumamente útil en la evaluación de los flujos cardíacos anormales, como los cortocircuitos y las regurgitaciones valvulares, tiene una resolución temporal limitada, generalmente 60 mseg a 80 mseg (12 a 17 cuadros por segundo), lo que constituye un grave inconveniente en la evaluación del llenado diastólico. (17)

Para evaluar la función diastólica se han empleado diversas técnicas, complementarias del Doppler pulsado del flujo transmitral y de las venas pulmonares, como el Doppler continuo de la desaceleración del flujo de la insuficiencia mitral o de la aceleración de la insuficiencia aórtica, la detección automática de bordes, el Doppler tisular y la colorkinesis. Todas

estas técnicas son sumamente promisorias, pero tienen limitaciones técnicas y de factibilidad. (1)

Recientemente se ha revalorizado el Doppler color en modo M como un método apto para investigar la progresión del flujo anterógrado mitral en el VI y complementar la información que brindan las técnicas clásicas para la evaluación de la función diastólica. (17) El Doppler pulsado codificado con color en modo M (Doppler color en modo M) informa sobre la distribución espacio-temporal de las velocidades a lo largo de una línea con una resolución temporal de 5 mseg (200 cuadros por segundo), una resolución espacial de aproximadamente 1 mm y una resolución para la velocidad de 30 mm/seg. Si bien el Doppler pulsado puede brindar información semejante modificando la ubicación del volumen de muestra, tiene la desventaja de que esta información no es simultánea. El método consiste en ubicar, desde la ventana apical del ecocardiograma transtorácico o de la ventana basal del ecocardiograma transesofágico, una línea de Doppler color en modo M a través del orificio de la válvula mitral, en forma paralela al tracto de entrada del VI. De esta manera se investigan las variaciones temporales de las velocidades de llenado del VI. Se registra una onda de llenado precoz y una onda de llenado tardío (durante la contracción auricular), así como la distribución espacial para las velocidades desde la aurícula izquierda a través del orificio de la válvula mitral hasta el ventrículo. Este perfil espacio-temporal de velocidades puede emplearse para obtener una valoración más completa de la función diastólica del VI. (17)

El análisis de la progresión del flujo anterógrado mitral en el VI, mediante Doppler color en modo M, se ha utilizado para evaluar las alteraciones diastólicas en la isquemia miocárdica aguda y crónica, la miocardiopatía dilatada, la miocardiopatía hipertrófica, la miocardiopatía restrictiva, las valvulopatías, la constricción pericárdica y la hipertensión arterial. (18-28) También se propone su empleo para diferenciar flujos transmitrales normales y seudonormales, para estimar la presión en la aurícula izquierda y para determinar gradientes transmitrales en válvulas no estenóticas. (29-31) Recientemente se ha sugerido que puede ser un auxiliar útil para la detección de isquemia durante el ecocardiograma con estrés. (32, 33) Sin embargo, existe aún escasa información sobre la relación de la progresión intraven-

tricular del flujo anterógrado mitral evaluado mediante Doppler color en modo M y variables clínicas (edad, sexo, peso, talla, frecuencia cardíaca, tensión arterial), ecocardiográficas (geometría de las cavidades cardíacas, masa ventricular, función sistólica) y, especialmente, del Doppler pulsado del flujo anterógrado mitral a nivel del borde libre de las valvas de la válvula mitral (velocidades e integrales del llenado precoz y tardío, tiempo de desaceleración del llenado precoz, tiempo de relajación isovolumétrico, flujo pico normalizado, relación de las velocidades y de las integrales del llenado precoz y tardío del VI). Si bien algunas de estas variables han sido analizadas en forma aislada, no se han realizado análisis multivariantes que contemplen a todas ellas en su conjunto.

El objetivo del presente estudio fue determinar la relación de varios índices de progresión intraventricular del flujo anterógrado mitral evaluado mediante Doppler color en modo M con variables clínicas, ecocardiográficas y del flujo anterógrado mitral analizado mediante Doppler pulsado.

MATERIAL Y METODO

Población

Se estudiaron en forma prospectiva 87 pacientes consecutivos, 47 mujeres y 40 hombres, de 18 a 85 años (media \pm desvío estándar 52 ± 17), en ritmo sinusal. Las características demográficas de la población y los diagnósticos se resumen en la Tabla 1.

Se excluyeron los pacientes con ritmo cardíaco diferente del sinusal, frecuencia cardíaca menor de 60 lat/min o superior a 100 lat/min, trastornos de conducción auriculoventricular o intraventricular,

estenosis mitral, insuficiencia mitral moderada o grave, insuficiencia aórtica moderada o grave, miocardiopatía hipertrófica o cardiopatía congénita.

Ecocardiograma y Doppler

El ecocardiograma, el Doppler pulsado y el Doppler color en modo M se realizaron con un equipo Vingmed 750 (Vingmed Sound, Horten, Norway) con un transductor combinado de ecografía (3,75 MHz) y Doppler (2,5 MHz). El examen se practicó con el paciente en decúbito lateral izquierdo.

En el ecocardiograma transtorácico se midió el diámetro diastólico y sistólico del VI, el grosor del septum interventricular y de la pared posterior en diástole y la dimensión de la aurícula izquierda, y se calculó la fracción de acortamiento del VI y la masa del VI de acuerdo con las recomendaciones de la American Society of Echocardiography. (34) El índice de masa del VI se calculó dividiendo la masa del VI por la potencia 2,7 de la altura ($\text{altura}^{2,7}$). (35-37)

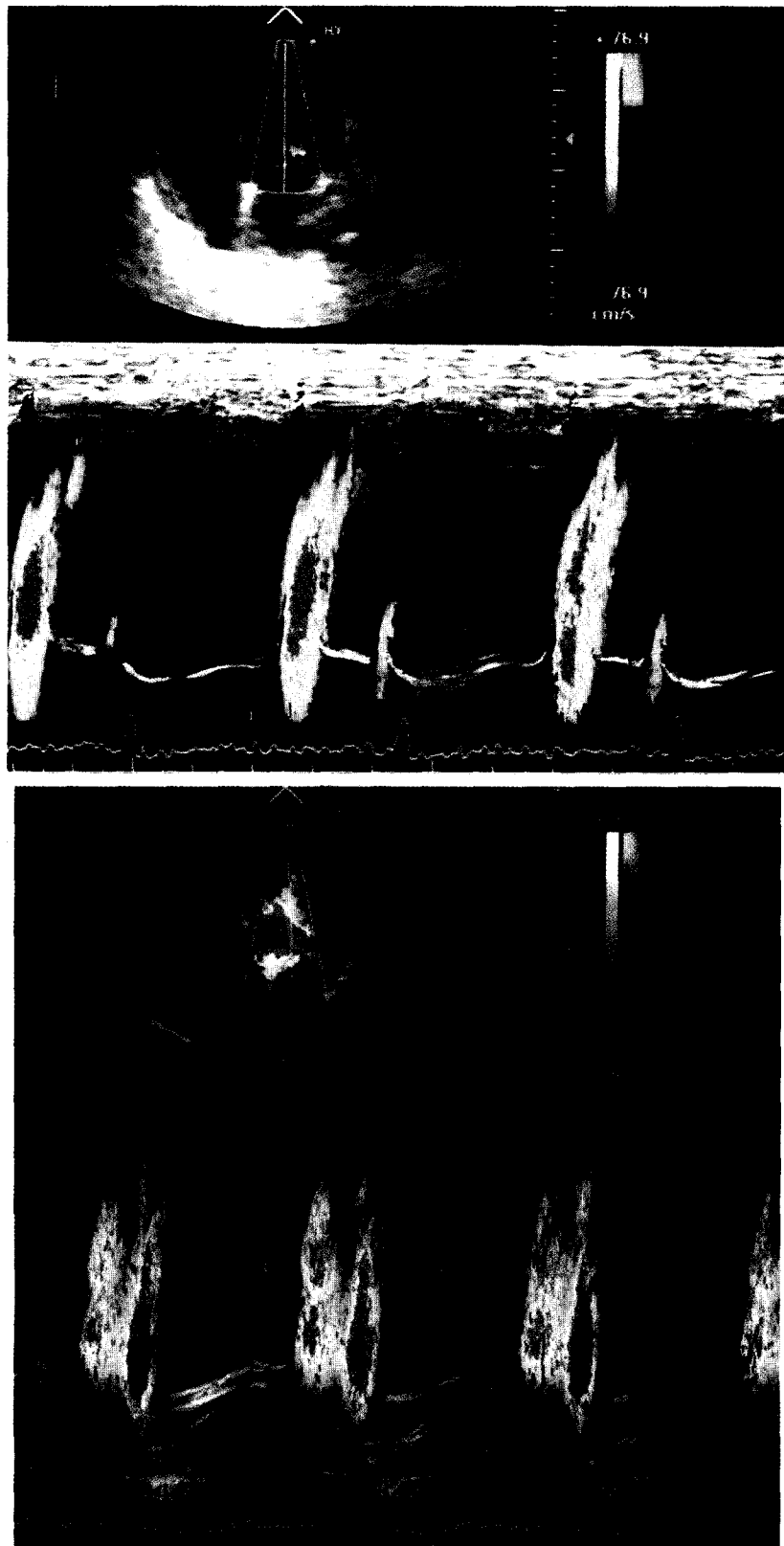
Para los estudios con Doppler pulsado se localizó el tracto de entrada del VI, en el plano de cuatro cámaras, desde la ventana apical. Mediante Doppler pulsado, ubicando un volumen de muestra de 3 mm a nivel del borde libre de las valvas de la válvula mitral, se registró el flujo anterógrado mitral. Se midió la velocidad (Ev) e integral (Ei) del flujo precoz de llenado del VI, la velocidad (Av) e integral (Ai) del flujo tardío de llenado del VI y el tiempo de desaceleración del llenado precoz (TD) del VI. Desplazando el volumen de muestra hacia el tracto de salida del VI se registraron simultáneamente el flujo anterógrado mitral y el flujo de eyección ventricular para medir el tiempo de relajación isovolumétrica (TRIV) del VI. Se calcularon las relaciones Ev/Av y Ei/Ai y el flujo pico normalizado (FPN) ($\text{FPN} = Ev/[Ei + Ai]$). (38)

En el tracto de entrada del VI en el plano de cuatro cámaras, desde la ventana apical, se observó con color, en bidimensional, el flujo de llenado del VI desde la válvula mitral hasta el ápex. Se colocó el cursor de Doppler color en modo M en el centro del citado flujo y se registró la propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral. Se trató de obtener la máxima propagación intraventricular del flujo. Se reguló la ganancia al máximo posible, evitando efectos de saturación (Figuras 1A y B). Se midió la velocidad inicial y total de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral y el retraso de base a ápex del mismo. Se definieron: 1) la velocidad inicial de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral (P1) como la pendiente de la semirecta determinada por el cambio de color (transición negro-rojo) que comienza a nivel de la válvula mitral; 2) la velocidad total de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral (P2) como

Tabla 1
Características demográficas de la población

Edad (años)	52 \pm 17
Sexo masculino	40 (46%)
Peso (kg)	73 \pm 16
Talla (m)	1,67 \pm 0,09
TAS (mmHg)	126 \pm 24
TAD (mmHg)	76 \pm 13
FC (lat/min)	73 \pm 11
Diagnóstico:	
Normal	35 (40%)
Hipertensión arterial	31 (36%)
Enfermedad coronaria	4 (5%)
Prolapso mitral	7 (8%)
Estenosis aórtica	5 (6%)
Pericardiopatía	1 (1%)
EPOC	3 (3%)
Lupus eritematoso sistémico	1 (1%)

TAS: tensión arterial sistólica. TAD: tensión arterial diastólica. FC: frecuencia cardíaca. EPOC: enfermedad pulmonar obstructiva crónica.



Figs. 1A y B. Ejemplos de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral mediante Doppler color en modo M.

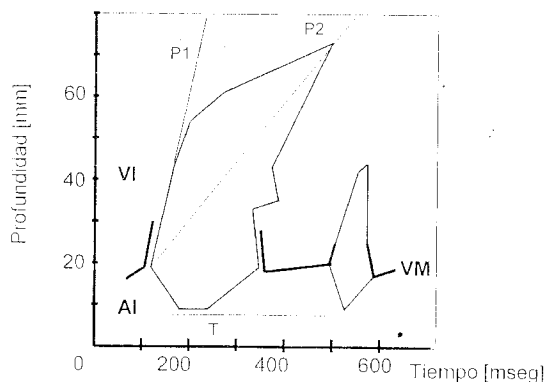


Fig. 2. Determinación de la velocidad de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral mediante Doppler color en modo M. Se esquematiza el flujo durante la diástole. La velocidad inicial de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral (P1) se define como la pendiente de semirrecta determinada por el cambio de color (transición negro-rojo) que comienza a nivel de la válvula mitral. La velocidad total de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral (P2) se define como la pendiente del segmento de recta determinado por el cambio de color (transición negro-rojo) a nivel de la válvula mitral y el punto de propagación más distal del mismo. El retraso de base a ápex del flujo (T) se define como el tiempo desde el cambio de color (transición negro-rojo) a nivel de la válvula mitral y el punto de propagación más distal. AI: aurícula izquierda. VI: ventrículo izquierdo. VM: válvula mitral.

la pendiente del segmento de recta determinado por el cambio de color (transición negro-rojo) a nivel de la válvula mitral, y el punto de propagación más distal del mismo; y 3) el retraso de base a ápex del flujo (T) como el tiempo desde el cambio de color (transición negro-rojo) a nivel de la válvula mitral y el punto de propagación más distal (Figura 2).

Estadística

Las variables discretas se expresaron como porcentajes. Las variables continuas se explicitaron como media \pm desvío estándar. Las comparaciones entre variables discretas se realizaron con prueba de

Tabla 3
Resultados del Doppler pulsado

Ev (cm/seg)	80 \pm 20
Av (cm/seg)	74 \pm 24
Ei (cm)	11 \pm 4
Ai (cm)	7 \pm 3
TD (mseg)	190 \pm 60
TRIV (mseg)	107 \pm 26
Ev/Av	0,60 \pm 0,07
Ei/Ai	1,31 \pm 1,50
FPN (vol sist/seg)	4,73 \pm 0,72

Ev: velocidad del flujo precoz de llenado. Av: velocidad del flujo tardío de llenado. Ei: integral del flujo precoz de llenado. Ai: integral del flujo tardío de llenado. TD: tiempo de desaceleración del flujo precoz de llenado. TRIV: tiempo de relajación isovolumétrica. FPN: flujo pico normalizado.

Tabla 2
Resultados del ecocardiograma

DDVI (mm)	48 \pm 6
DSVI (mm)	27 \pm 6
SIV (mm)	11 \pm 3
PP (mm)	11 \pm 2
IMVI (g/m ² 7)	58 \pm 24
FA (%)	43 \pm 8
Au (mm)	36 \pm 8

DDVI: diámetro diastólico del ventrículo izquierdo. DSVI: diámetro sistólico del ventrículo izquierdo. SIV: grosor del septum interventricular en diástole. PP: grosor de la pared posterior del ventrículo izquierdo en diástole. IMVI: índice de masa del ventrículo izquierdo. FA: fracción de acortamiento. Au: dimensión de la aurícula izquierda.

chi cuadrado. Las correlaciones univariadas se efectuaron con análisis de regresión. Los análisis multivariados se hicieron con análisis de regresión múltiple. Se consideró como estadísticamente significativa una $p < 0,05$.

RESULTADOS

Los resultados del ecocardiograma del Doppler pulsado y del Doppler color en modo M se resumen en las Tablas 2, 3 y 4.

La P1 y la P2 no tuvieron correlación entre sí ($r = +0,18$; $p = NS$). La P1 no se correlacionó con el T ($r = -0,20$; $p = NS$). La P2 se correlacionó en forma negativa con el T ($r = -0,58$; $p < 0,001$).

La P1, la P2 y el T no fueron diferentes en ambos sexos.

En el análisis univariable la P1 se correlacionó en forma positiva con la Ev y con el FPN (Tabla 7). En el análisis multivariable la P1 dependió de la velocidad de la Ev y del FPN (Tabla 8).

En el análisis univariable la P2 se correlacionó en forma negativa con la edad, con el grosor de la pared posterior del VI en diástole, con el índice de masa del VI, con la dimensión de la aurícula izquierda, con la Ai y con el TD (Tablas 5, 6 y 7). En el análisis multivariable la P2 dependió sólo de la edad (Tabla 8).

En el análisis univariable el T se correlacionó en forma positiva con la edad, con el diámetro diastólico y sistólico del VI, con el grosor del septum interven-

Tabla 4
Resultados del Doppler color en modo M

P1 (mm/seg)	916 \pm 1.328
P2 (mm/seg)	468 \pm 311
T (mseg)	122 \pm 61

P1: velocidad inicial de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral. P2: velocidad total de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral. T: retraso de base a ápex del flujo.

Tabla 5
Análisis univariable del Doppler color en modo M
y las variables clínicas

	P1		P2		T	
	r	p	r	p	r	p
Edad	-0,19	NS	-0,36	0,001	+0,38	<0,001
Peso	-0,11	NS	-0,13	NS	+0,18	NS
Talla	-0,07	NS	-0,10	NS	+0,15	NS
TAS	-0,06	NS	-0,12	NS	+0,07	NS
TAD	-0,14	NS	-0,12	NS	+0,13	NS
FC	+0,13	NS	+0,08	NS	+0,03	NS

P1: velocidad inicial de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral. P2: velocidad total de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral. T: retraso de base a ápex del flujo. TAS: tensión arterial sistólica. TAD: tensión arterial diastólica. FC: frecuencia cardíaca.

tricular y de la pared posterior del VI, con la dimensión de la aurícula izquierda, con el índice de masa del VI, con la Av, con la Ai y con el TD, y en forma negativa con la fracción de acortamiento del VI (Tablas 5, 6 y 7). En el análisis multivariable el T dependió del diámetro sistólico del VI y de la edad (Tabla 8).

DISCUSION

El Doppler color en modo M es una técnica capaz de brindar información sobre la propagación espacio-temporal del flujo transmitral que ingresa al VI. (17) Se han empleado diferentes variables para definir esta progresión intraventricular del flujo anterógrado mitral. (21, 24, 27-29) Sin embargo, aún no existe acuerdo sobre cuál es o cuáles son los índices más útiles para la caracterización de este flujo. Además, se ha mencionado que estos índices podrían

Tabla 7
Análisis univariable del Doppler color en modo M y el
Doppler pulsado

	P1		P2		T	
	r	p	r	p	r	p
Ev	+0,29	0,006	-0,02	NS	+0,19	NS
Av	+0,03	NS	-0,11	NS	+0,27	0,012
Ei	-0,05	NS	-0,20	NS	+0,17	NS
Ai	-0,08	NS	-0,25	0,018	+0,26	0,017
TD	-0,12	NS	-0,24	0,021	+0,29	0,006
TRIV	-0,18	NS	-0,11	NS	+0,18	NS
Ev/Av	+0,07	NS	+0,06	NS	-0,13	NS
Ei/Ai	-0,01	NS	-0,02	NS	-0,05	NS
FPN	+0,31	0,004	+0,12	NS	-0,13	NS

P1: velocidad inicial de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral. P2: velocidad total de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral. T: retraso de base a ápex del flujo. Ev: velocidad del flujo precoz de llenado. Av: velocidad del flujo tardío de llenado. Ei: integral del flujo precoz de llenado. Ai: integral del flujo tardío de llenado. TD: tiempo de desaceleración del flujo precoz de llenado. TRIV: tiempo de relajación isovolumétrica. FPN: flujo pico normalizado.

Tabla 6
Análisis univariable del Doppler color en modo M
y el ecocardiograma

	P1		P2		T	
	r	p	r	p	r	p
DDVI	-0,10	NS	-0,18	NS	+0,35	0,001
DSVI	-0,11	NS	-0,14	NS	+0,41	<0,001
SIV	-0,14	NS	-0,17	NS	+0,26	0,017
PP	-0,12	NS	-0,22	0,036	+0,27	0,009
IMVI	-0,14	NS	-0,23	0,032	+0,37	<0,001
FA	+0,08	NS	+0,12	NS	-0,27	0,013
Au	-0,09	NS	-0,30	0,009	+0,40	<0,001

P1: velocidad inicial de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral. P2: velocidad total de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral. T: retraso de base a ápex del flujo. DDVI: diámetro diastólico del ventrículo izquierdo. DSVI: diámetro sistólico del ventrículo izquierdo. SIV: grosor del septum interventricular en diástole. PP: grosor de la pared posterior del ventrículo izquierdo en diástole. IMVI: índice de masa del ventrículo izquierdo. FA: fracción de acortamiento. Au: dimensión de la aurícula izquierda.

estar relacionados con características clínicas, con características de la anatomía y de la función del VI, y con índices ya establecidos, derivados del análisis del Doppler pulsado. (21) Más aún, las particularidades clínicas y las cualidades anatómicas y funcionales del VI podrían tener una importante influencia en los citados índices. (21) En consecuencia, el presente estudio tuvo por objetivo determinar la relación de varios índices de la progresión intraventricular del flujo anterógrado mitral evaluado mediante Doppler color en modo M con variables clínicas, ecocardiográficas y del flujo anterógrado mitral analizado mediante Doppler pulsado.

La P1 no se correlacionó con la P2 y con el T, lo que sugiere que la P1 depende de fenómenos fisiopatológicos diferentes de los determinantes de la P2 y del T. Por el contrario, la P2 y el T se correlacionan negativamente, lo que permite afirmar que ambos dependen, en parte, de fenómenos comunes. Ello es evidente, ya que P2 es igual a la distancia de propagación del flujo dentro del VI dividida por el T.

Tabla 8
Análisis multivariable del Doppler color en modo M y las
variables clínicas, el ecocardiograma y el Doppler pulsado

	Ecuación de regresión	r	p
P1	-1.483 + 14,64 Ev + 259,81 FPN	+0,37	<0,05
P2	+818 - 0,67 EDAD	+0,36	<0,05
T	-34 + 3,59 DSVI + 1,11 edad	+0,50	<0,05

P1: velocidad inicial de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral. P2: velocidad total de propagación intraventricular del flujo anterógrado mitral. T: retraso de base a ápex del flujo. Ev: velocidad del flujo precoz de llenado. FPN: flujo pico normalizado. DSVI: diámetro sistólico del ventrículo izquierdo.

La P1 se correlaciona en el análisis univariable con la Ev y con el FPN. El análisis multivariable confirma que P1 depende de ambas variables en forma independiente.

Por una parte, la Ev está determinada por el gradiente entre la aurícula izquierda y el VI en la diástole temprana, la velocidad de relajación del VI, la constante de volumen del VI y el volumen de fin de sístole del VI. (39) El gradiente entre la aurícula izquierda y el VI, a su vez, está determinado por la presión en la aurícula izquierda, que representa la precarga del VI, y por la presión en el VI en ese momento. (39)

Por su lado, el FPN, al normalizar el flujo pico por el volumen diastólico, lo independiza del mismo, constituyendo un método indirecto para evaluar la velocidad de relajación del VI. (38) Cabe señalar que la velocidad de relajación está determinada por un triple control constituido por las cargas (precarga y poscarga del VI), por la velocidad de inactivación de cada fibra individual y por la heterogeneidad de esta inactivación. (40-42) Con respecto a las cargas, la presión en la aurícula izquierda durante la diástole temprana, que ocasiona, parcialmente, la Ev, forma parte también de la precarga del VI que, como se ha mencionado, es uno de los controles de la relajación. (42) Es decir que, si bien la Ev y el FPN representan fenómenos fisiopatológicos diferentes, ambos están imbricados, como lo evidencia el hecho de que, en el presente estudio, hubo una correlación positiva entre ambos ($r = +0,26$; $p = 0,02$). Con referencia al fenómeno de heterogeneidad, es oportuno decir que en el mismo concurren la dependencia espacial de la inactivación, que es más precoz en la base y más tardía en el ápex, y la asincronía de la inactivación parietal. (41)

Dado que la P1 se correlaciona con la Ev y con el FPN, ésta sería una variable que permitiría evaluar conjuntamente la presión en la aurícula izquierda y la relajación del VI. Esta afirmación coincide parcialmente con los trabajos de Brun y colaboradores, quienes encontraron que la P1 se correlaciona con la constante de relajación isovolumétrica (τ). (21) Estos autores hallaron que la P1 se correlaciona también con la Ev en sujetos normales, pero no en pacientes con cardiopatía. Por el contrario, Stugaard y colaboradores, fundamentados en mediciones directas, y Qureschi y colaboradores, basados en evidencias indirectas, sostienen que la P1 es independiente de la precarga, si ésta se encuentra en valores de rango clínico. (27, 43) En el presente estudio se encontró correlación significativa entre la P1 y la Ev, aunque no se analizaron por separado los sujetos normales y los pacientes con cardiopatía.

En coincidencia con los trabajos de Brun y colaboradores, de Stugaard y colaboradores y de Qureschi y colaboradores, en el presente trabajo se encon-

tró que la P1 depende de la velocidad de relajación del VI, estimada indirectamente por el FPN. (21, 27, 43) Probablemente la P1 estaría influenciada por el gradiente base-ápex y, particularmente, por la asincronía de inactivación parietal, como lo destacan Brun y colaboradores. (21) Ello explicaría la disminución de la P1 en algunas situaciones patológicas como la isquemia. (19, 21, 24, 26, 32, 33)

La ausencia de correlación entre la P1 y el TD indicaría que aquélla no depende de la rigidez de cámara del VI, ya que esta última se relaciona en forma inversa con el TD; como lo señalan Little y colaboradores. (44) Cabe destacar que la P1 fue independiente, también, de variables clínicas, en particular la edad, y de características ecocardiográficas de la geometría ventricular, como las dimensiones ventriculares y la masa del VI, y de la función de cámara del VI.

La P2 se correlaciona en el análisis univariable en forma negativa con la edad, con el grosor de la pared posterior del VI en diástole, con el índice de masa del VI, con la dimensión de la aurícula izquierda, con el TD y con la Ai. Sin embargo, en el análisis multivariable la edad es la única variable independiente significativa. Ello coincide con el trabajo de Mego y colaboradores, quienes destacan que la velocidad de propagación del flujo es significativamente dependiente de la edad. (45)

El T se correlaciona con el análisis univariable en forma positiva con la edad, con el diámetro diastólico y sistólico del VI, con el grosor del septum interventricular y de la pared posterior del VI, con la dimensión de la aurícula izquierda, con el índice de masa del VI, con la Av, con la Ai y con el TD; y en forma negativa con la fracción de acortamiento del VI. Sin embargo, en el análisis multivariable la edad y el DSVI son las únicas variables independientes significativas. Dado que el DSVI es determinado por la geometría del VI y por la función sistólica del VI, T dependería indirectamente de estas variables. Esta dependencia de T de la dimensión del VI es destacada por Brun y colaboradores, quienes aconsejan evitar el empleo de T cuando se desee comparar la propagación del flujo intraventricular en pacientes con VI de diferentes geometrías. (21)

En conclusión, la P1, la P2 y el T son variables que evalúan de forma diferente la propagación del flujo intraventricular. La dependencia de la P2 y el T de la edad y del T de la geometría y función sistólica del VI hacen que estos índices parezcan no ser los más adecuados en la comparación de diferentes pacientes, pero probablemente sean apropiados cuando se estudian distintas situaciones fisiopatológicas o hemodinámicas en el mismo sujeto. La P1 dependería de la velocidad de relajación del VI y permitiría investigar temporoespacialmente, y en forma no

invasiva, la relajación del VI. Sin embargo, tanto la relajación como la P1 dependen, en parte, de las cargas. En consecuencia, como se corrobora en el presente estudio, la P1 depende también del gradiente máximo auriculoventricular en la diástole temprana, que se corresponde con la Ev.

Desde la perspectiva clínica, el análisis de la progresión intraventricular del flujo transmitral se presenta como un método auxiliar promisorio que se agrega a los ya establecidos de Doppler pulsado y continuo, para una mayor comprensión de los fenómenos diastólicos. (1, 17)

Limitaciones del estudio

Este estudio fue realizado en forma manual, a partir de las imágenes que ofrece un sistema ecocardiográfico de uso clínico. Diferentes autores han propuesto sistemas más sofisticados para el examen de la imagen de Doppler como digitalización y magnificación, análisis asistido por computadora, análisis automatizado vectorial con computadora y estudio de la velocidad de propagación de la primera *aliasing*. (24, 25, 29, 46, 47) En la presente experiencia se han elegido las mediciones más factibles de llevar a cabo en un laboratorio clínico. Ello puede representar una desventaja cuando se intenta comparar los presentes resultados con los de la literatura, ya que éstos pueden haberse obtenido con otros métodos. Más aún cabe destacar que los métodos de evaluación del llenado diastólico mediante Doppler color en modo M tampoco se correlacionan con otros como los radioisotópicos. (48)

Una limitación inherente al método es que el Doppler color en modo M sólo explora un segmento de recta axial de base a ápex; al carecer de resolución lateral se ignoran las regiones septales, laterales, inferiores, anteriores y paraaxiales. (17)

SUMMARY

EVALUATION OF LEFT VENTRICULAR FILLING BY COLOR M-MODE DOPPLER

Background

This study evaluated the relationship between flow propagation velocities and flow propagation delay (T), and clinical, echocardiographic and pulsed Doppler variables, in 87 consecutive patients.

Material and method

We measured left ventricular (VI) diastolic diameter (DD), interventricular septum thickness (SIV), left ventricular posterior wall thickness (PP), left atrial dimension (Au), peak early diastolic filling velocity (Ev) and time integral (Ei), peak late diastolic filling velocity (Av) and time integral (Ai),

deceleration time (TD), and isovolumic relaxation time (TRIV). We calculated fractional shortening (FA), left ventricular mass index (IMVI), Ev/Av relation, Ei/Ai relation, and normalized peak flow rate (FPN). We measured early (P1) and late (P2) flow propagation velocities and T by color M-mode Doppler.

Results

P1 had no correlation with P2 or with T. P2 showed negative correlation with T. P1, P2 and T were no different in males and women. P1 showed correlation with Ev and NPFR, in univariate and multivariate analysis. P2 showed correlation with age, PP, IMVI, Au, Ai and TD, in univariate analysis. P2 was dependent on age in multivariate analysis. T showed positive correlation with age, DDVI, DSVI, SIV, PP, Au, IMVI, Av, Ai and TD; and negative correlation with FA, in univariate analysis. T was dependent on age and DSVI in multivariate analysis.

Conclusions

Left ventricular filling flow propagation by color M-mode Doppler seems to be an approach useful for evaluation of left ventricular diastolic function.

Key words Echocardiography - Diastole - Ventricles

BIBLIOGRAFIA

1. Cohen G, Pietrolungo J, Thomas J, Klein A. A practical guide to assessment of ventricular diastolic function using Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1996; 27: 1753-1760.
2. Kaul S. Doppler echocardiography on critically ill cardiac patients. *Cardiol Clin* 1991; 9: 711-732.
3. Appleton C, Hatle L, Popp R. Relation of transmitral flow velocity patterns to left ventricular diastolic function: new insights from a combined hemodynamic and Doppler study. *J Am Coll Cardiol* 1988; 12: 426-440.
4. Nishimura R, Schwartz R, Tajik A, Holmes D. Noninvasive measurement of rate of left ventricular relaxation by Doppler echocardiography: validation with simultaneous cardiac catheterization. *Circulation* 1993; 88: 146-155.
5. Hatle L, Appleton C, Popp R. Differentiation of constrictive pericarditis and restrictive cardiomyopathy by Doppler echocardiography. *Circulation* 1989; 79: 357-370.
6. Appleton C, Hatle L, Popp R. Demonstration of restrictive ventricular physiology by Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1988; 11: 757-768.
7. Appleton C, Hatle L, Popp R. Cardiac tamponade and pericardial effusion: respiratory variation in transthoracic flow velocities studied by Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1988; 11: 1020-1030.
8. Rossvoll O, Hatle L. Pulmonary venous flow velocities recorded by transthoracic Doppler ultrasound: relation to ventricular diastolic pressures. *J Am Coll Cardiol* 1993; 21: 1687-1696.
9. Mulvagh S, Quiñones M, Kleiman N, Cheirif J, Zoghbi W. Estimation of left ventricular end-diastolic pressure from Doppler transmitral flow velocity in cardiac patients independent of systolic performance. *J Am Coll Cardiol* 1992; 20: 112-119.
10. Kuecherer H, Muhiudeen I, Kusumoto F, Lee E, Moulinier

- L, Calahan M y col. Estimation of mean left atrial pressure from transesophageal pulsed Doppler echocardiography of pulmonary venous flow. *Circulation* 1990; 82: 1127-1139.
11. Appleton C, Galloway J, González M, Gaballa M, Basnight M. Estimation of left ventricular filling pressures using two-dimensional and Doppler echocardiography in adults patients with cardiac disease. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 1972-1982.
 12. Oh J, Zee P, Gersh, Bailey K, Tajik A. Restrictive left ventricular diastolic filling identifies patients with heart failure after myocardial infarction. *J Am Soc Echocardiogr* 1992; 5: 497-503.
 13. Piamonti B, Di Lenarda A, Sinagra G, Camerini. Restrictive left ventricular filling pattern in dilated cardiomyopathy assessed by Doppler echocardiography: clinical, echocardiographic and hemodynamic correlations and prognostic implications. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 808-815.
 14. Xie G, Merk M, Smith M, Gurley J, DeMaría A. Prognostic value of Doppler transmitral flow patterns in patients with congestive heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1994; 24: 132-139.
 15. Klein A, Hatle L, Taliercio C, Oh J, Kyle R, Gertz M y col. Prognostic significance of Doppler measures of diastolic function in cardiac amyloidosis. *Circulation* 1991; 83: 808-816.
 16. Vanoverschelde J, Raphael D, Robert A, Cosyns J. Left ventricular filling in dilated cardiomyopathy: relation to functional class and hemodynamics. *J Am Coll Cardiol* 1990; 15: 1288-1295.
 17. Vandervoort P. Noninvasive assessment of left ventricular diastolic function. Application of color Doppler M-mode echocardiography. *En: Klein A. Advances in echocardiography. Fourth Annual Diastology. Cleveland, The Cleveland Clinic Foundation, 1996; 143-147.*
 18. Jacobs L, Kotler M, Parry W. Flow patterns in dilated cardiomyopathy: a pulsed-wave and color flow Doppler study. *J Am Soc Echocardiogr* 1990; 3: 294-302.
 19. Stugaard M, Risøe C, Ihlen H, Smiseth O. Color M-mode reflects diastolic dysfunction during regional myocardial ischemia (abstract). *Circulation* 1991; 84 (Suppl II): II-638.
 20. Aragam J, Vandervoort P, Adams M, Rodríguez L, Weyman A, Thomas J. Apical displacement of the early mitral velocity peak as a marker for ventricular diastolic suction (Resumen). *J Am Soc Echocardiogr* 1991; 4: 296.
 21. Brun P, Tribouilloy C, Duval A-M, Iserin L, Meguira A, Pelle G y col. Left ventricular flow propagation during early filling is related to wall relaxation: a color M-mode Doppler analysis. *J Am Coll Cardiol* 1992; 20: 420-432.
 22. Pennestri F, Biasucci L, Rinelli G, Mongiardo R, Lombardo A, Rossi E y col. Abnormal flow patterns in left ventricular dysfunction determined by color Doppler study. *Am Heart J* 1992; 124: 966-974.
 23. Yamamoto K, Tanouchi J, Masumaya T, Naito J, Mano T, Kondo H y col. Retardation of early diastolic flow velocity: a new approach to noninvasive assessment of left ventricular diastolic profile (abstract). *J Am Soc Echocardiogr* 1993; 6: S35.
 24. Stugaard M, Smiseth O, Risøe C, Ihlen H. Intraventricular early diastolic filling during acute myocardial ischemia. Assessment by multigated color M-mode Doppler echocardiography. *Circulation* 1993; 88: 2705-2713.
 25. Stugaard M, Risøe C, Ihlen H, Smiseth O. Intracavitary filling pattern in falling left ventricle assessed by color M-mode echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1994; 24: 663-670.
 26. Fehske W, Niedeggen A, Omran H, Pizulli L, Manz M, Luderitz B. Der einfluss von nisoldipin und diltiazem auf die systolische und diastolische funktion des linken ventrikles bei patienten mit koronaren herzkrankheit. *Z Kardiol* 1994; 83: 50-59.
 27. Qureshi U, Olmos L, Cid E, Kopelen H, Revees-Viets J, Quiñones M. Influence of preload and relaxation on early diastolic flow propagation as assessed by color M-mode Doppler (abstract). *J Am Soc Echocardiogr* 1995; 8: 357.
 28. Rodríguez L, Ares M, Vandervoort P, Thomas J, Greenberg N, Klein A. Does color M-mode flow propagation differentiate between patients with restrictive vs constrictive physiology? (Resumen). *J Am Coll Cardiol* 1996; 27 (Suppl A): 268A.
 29. Takatsuji H, Mikami T, Urasawa K, Teranishi J-I, Onozuka H, Takagi C y col. A new approach for evaluation of left ventricular diastolic function: spatial and temporal analysis of left ventricular filling flow propagation by color M-mode Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1996; 27: 365-371.
 30. Ares M, García M, Asher C, Leung D, Rodríguez L, Vandervoort P y col. Color Doppler M-mode velocity propagation: an index of left ventricular filling that combined with pulsed Doppler peak E velocity may predict left atrial pressure (Resumen). *J Am Coll Cardiol* 1995; Special Issue: 335A.
 31. Greenberg N, Vandervoort P, Griffin B, Stewart W, Savage R, McCarthy P y col. Instantaneous left ventricular filling gradients through nonstenotic mitral valves can be derived from color M-mode velocities: intraoperative clinical validation (Resumen). *J Am Coll Cardiol* 1994; Special Issue: 463A.
 32. Ares M, Rodríguez L, Leung D, García M, Vandervoort P, Marwick T. Color Doppler M-mode assessment of flow velocity propagation during early filling: a useful adjunct to wall motion analysis during dobutamine stress echocardiography (abstract). *J Am Coll Cardiol* 1995; Special Issue: 159A.
 33. Stojnic B, Ciric B, Radjonic V, Prcovic M. Late apical filling by color Doppler M-mode during dipyridamole stress echocardiography: a useful contribution to wall motion analysis (Resumen). *J Am Soc Echocardiogr* 1996; 9: 400.
 34. Sahn D, DeMaría A, Kisslo J, Weyman A. The Committee on M-mode Standardization of the American Society of Echocardiography. Recommendations regarding quantitation in M-mode echocardiography: results of a survey of echocardiographic measurements. *Circulation* 1978; 58: 1072-1073.
 35. Devereux R, Reichek N. Echocardiographic determination of left ventricular mass in man. Anatomic validation of the method. *Circulation* 1977; 55: 613-618.
 36. Devereux R, Alonso D, Lutas E, Gottlieb G, Campo E, Sachs I y col. Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy: comparison to necropsy findings. *Am J Cardiol* 1986; 57: 450-458.
 37. de Simone G, Daniels S, Devereux R, Meyer R, Román M, de Vitiis O y col. Left ventricular mass and body size in normotensive children and adults: assessment of allometric relations and impact of overweight. *J Am. Coll Cardiol* 1992; 20: 1251-1260.
 38. Bowman L, Lee F, Jaffe C, Mattered J, Thwackers F, Zaret B. Peak filling rate normalized to mitral stroke volume: a new Doppler echocardiographic filling index validated by radionuclide angiographic techniques. *J Am Coll Cardiol* 1988; 12: 937-943.
 39. Thomas J, Weyman A. Echocardiographic Doppler assessment of left ventricular function: physics and physiology. *Circulation* 1991; 84: 977-990.
 40. Brusaert D, Rademarkers F, Sys S. Triple control of relaxation: implications in cardiac disease. *Circulation* 1984; 69: 190-196.
 41. Brusaert D. Nonuniformity: physiologic modulator of contraction and relaxation of normal heart. *J Am Coll Cardiol* 1987; 9: 341-348.
 42. Gaasch W, Carroll J, Blaustein A, Bing O. Myocardial relaxation: effect of preload on the time course of isovolumetric relaxation. *Circulation* 1996; 73: 1037-1041.

43. Stugaard M, Vandervoort P, Greenberg N, Christian R, Thomas J, Fouad-Tarazi F. Preload does not influence color Doppler M-mode patterns of the left ventricle in hypertension (Resumen). *J Am Soc Echocardiogr* 1996; 9: 375.
44. Little W, Ohno M, Kilzman D, Thomas J, Cheng C-P. Determination of left ventricular chamber stiffness from the time for deceleration of early left ventricular filling. *Circulation* 1995; 92: 1933-1939.
45. Mego D, Nottestad S, Lamanna V, Onescuk L, Moody J, Rubal B y col. Color Doppler M-mode assessment of left ventricular filling in normal individuals: variation of flow propagation velocity with age (Resumen). *Circulation* 1995; 92 (Suppl I): I14-I15.
46. Vandervoort P, Greenberg N, Rivera M, Powell K, Thomas J. Noninvasive assessment of diastolic function using digital analysis of color Doppler M-mode velocities: an in vivo study (Resumen). *J Am Soc Echocardiogr* 1993; 6: S35.
47. Stugaard M, Greenberg N, Vandervoort P, Thomas. A novel approach of analysing color M-mode Doppler filling patterns by automated computer eigenvectors (Resumen). *J Am Coll Cardiol* 1996; 27 (Suppl A): 173A.
48. Steen T, Rootwelt K, Risøe C, Andreassen A, Ihlen H. A new color M-mode index of diastolic filling compared with radionuclide ventriculography. *Int J Cardiol* 1995; 48: 89-95.