

Estimación de las presiones de llenado de ventrículo izquierdo por ecocardiografía Doppler en pacientes críticos

J.M. AYUELA^a Y F. GONZÁLEZ VILCHEZ^b

^aUnidad de Cuidados Intensivos. Hospital General Yagüe. Burgos. España.

^bServicio de Cardiología. Hospital Marques de Valdecilla. Santander. España.

Actualmente, la ecocardiografía tiene un papel bien establecido en el tratamiento del paciente crítico. En los últimos años, la necesidad de disponer de información hemodinámica continua y la preocupación acerca de la seguridad del catéter de Swan-Ganz han despertado el interés por la ecocardiografía Doppler como técnica no invasiva útil en la vigilancia de la función cardiovascular. Las utilidades bien conocidas, como la estimación de la fracción de eyección ventricular o el cálculo del gasto cardíaco derivado del Doppler, pueden ahora completarse con la estimación de la presión de llenado ventricular. Con este último objetivo, la implementación y el refinamiento de algunas técnicas (análisis de flujo venoso pulmonar, Doppler color en modo M del flujo de llenado mitral, Doppler tisular) han desempeñado un papel importante. El objetivo del presente artículo es proporcionar una revisión actualizada de estos nuevos métodos, basándose en la experiencia del autor y centrándose principalmente en aspectos prácticos.

PALABRAS CLAVE: *ecocardiografía Doppler, presión ventricular izquierda.*

ESTIMATION OF LEFT VENTRICULAR FILLING PRESSURES BY DOPPLER ECHOCARDIOGRAPHY IN CRITICALLY ILL PATIENTS

Currently, echocardiography has a well-established role in the management of the critically ill

Correspondencia: Dr. J.M. Ayuela.
Unidad de Cuidados Intensivos. Hospital General Yagüe.
Vitoria, 21. 09004 Burgos. España.
Correo electrónico: jma@hgy.es

Manuscrito aceptado el 9-VII-2003.

In recent years, the need for continuous hemodynamic information and concerns about the safety of the Swan-Ganz catheter have increased interest in Doppler echocardiography as a non-invasive and useful tool for monitoring cardiovascular function. Well-known utilities, such as estimate of ventricular ejection fraction or Doppler-derived calculation of cardiac output, can now be completed with estimation of ventricular filling pressures. For this latter purpose, implementation and refinement of some techniques (pulmonary venous flow analysis, color M-mode Doppler of mitral inflow, Doppler tissue) have played a critical role. The present article aims to provide an update of these new methods, based on the author's own experience and mainly focused on practical issues.

KEY WORDS: *Doppler echocardiography, left ventricular filling pressures.*

INTRODUCCIÓN

El papel de la ecocardiografía como método diagnóstico está claramente asentado, con unas indicaciones precisas en situaciones de urgencia o en pacientes críticos¹. En los últimos años, y dada la necesidad de vigilancia hemodinámica continua en muchos enfermos en medicina intensiva y las controversias actuales en el uso del catéter de Swan-Ganz, se ha fijado la atención en la utilidad de la ecocardiografía Doppler para determinar los índices de función sistólica y diastólica de ventrículo izquierdo, susceptibles de ser usados para controlar el sistema cardiovascular.

En un artículo reciente² se analiza la utilidad de diferentes métodos ecocardiográficos para obtener medidas hemodinámicas no sólo susceptibles de ser utilizadas con fines diagnósticos puntuales, sino

también para analizar su variabilidad y los cambios inducidos por el tratamiento aplicado. Algunos, como la medida y la rentabilidad del gasto cardíaco, son bien conocidos, y otros, como la estimación de las presiones de llenado por ecocardiografía Doppler, lo son menos, al ser conceptos introducidos en los últimos años y que se estiman mediante técnicas ecocardiográficas, aparentemente complejas, como Doppler tisular, velocidad de propagación del Doppler color en modo M o flujos de venas pulmonares.

El objetivo del presente trabajo es ofrecer una revisión actualizada de estos métodos, desde el punto de vista de la experiencia personal de los autores. Para ello se analizan los artículos más relevantes, prestando atención especial a su modo práctico de realización mediante esquemas. No se analizarán los fundamentos teóricos en que se basan, ya que pueden consultarse en los artículos originales.

ESTIMACIÓN DE LA PRESIÓN CAPILAR PULMONAR

En un paciente con inestabilidad hemodinámica, conocer la presión pulmonar de enclavamiento es básico como indicador de la precarga del ventrículo izquierdo y con fines diagnósticos, al poder diferenciar entre las diferentes etiologías del edema pulmonar. Actualmente se puede afirmar que la presión capilar pulmonar (PCP), como imagen de la presión de la aurícula izquierda, puede estimarse de forma fiable mediante parámetros de función diastólica obtenidos con ecocardiografía Doppler. A continuación se detalla el modo de obtención y el valor de los principales parámetros usados para este propósito.

Flujo de llenado mitral³

Durante la diástole, el llenado ventricular izquierdo se explora mediante Doppler pulsado (Pw), colocando el volumen de muestra a nivel de los bordes libres de los velos mitrales, preferentemente en planos apicales. En sujetos en ritmo sinusal, se obtiene un registro que consta de 2 ondas: onda E, de llenado rápido protodiastólico, y onda A, dependiente de la contracción auricular. Asimismo colocando el cursor del Pw entre la válvula mitral y el tracto de salida del ventrículo izquierdo, en plano apical de 5 cámaras y usando de guía el Doppler color, se obtiene el tiempo de relajación isovolumétrica (TRIV). Su duración se mide entre el artefacto de cierre del flujo aórtico y el de inicio del flujo mitral.

Típicamente, la curva de flujo de llenado mitral normal en un sujeto de mediana edad presenta una onda E ligeramente mayor que la onda A, relación E/A > 1, tiempo de desaceleración (TD) de la onda E en torno a 180 ms y TRIV de unos 90 ms.

En cada momento del llenado diastólico, la velocidad que representa la onda manifiesta el gradiente de presión instantánea que se establece entre la aurícula y el ventrículo izquierdos, de acuerdo con

la ecuación de Bernouilli. El patrón de flujo mitral nos aporta una información global e inespecífica de la función diastólica, resultado de la interacción entre el estado de la relajación ventricular, la elasticidad ventricular y el valor de la presión auricular izquierda. Por ello la morfología de la curva se modifica en diferentes circunstancias, como las condiciones hemodinámicas, la frecuencia cardíaca y la edad. Sus características y la evolución de los patrones de llenado en relación con el grado de disfunción diastólica se resumen en la figura 1.

La obtención de la curva de velocidad de flujo de llenado mitral es técnicamente muy simple, reproducible y fácil de realizar a la cabecera del enfermo. En la Clínica Mayo, Nishimura et al⁴ estudiaron la relación entre estos parámetros y la presión de llenado en 2 grupos de pacientes: 42 con disfunción ventricular sistólica izquierda (fracción de eyección [FE] < 40%) y 55 con miocardiopatía hipertrófica. En este contexto clínico, la presión de la aurícula izquierda está inversamente relacionada con el TD de la onda E (r = 0,73, p < 0,001) y directamente con la relación E/A (r = 0,49, p = 0,004). Cuando el TD es < 180 ms, se asocia a una PCP ≥ 20 mm con una sensibilidad y especificidad del 100%. Una relación E/A > 2 tiene baja sensibilidad (52%) y alta especificidad (100%). Desafortunadamente, por su dependencia del estado de la relajación ventricular, sólo fueron útiles en el grupo de disfunción sistólica avan-

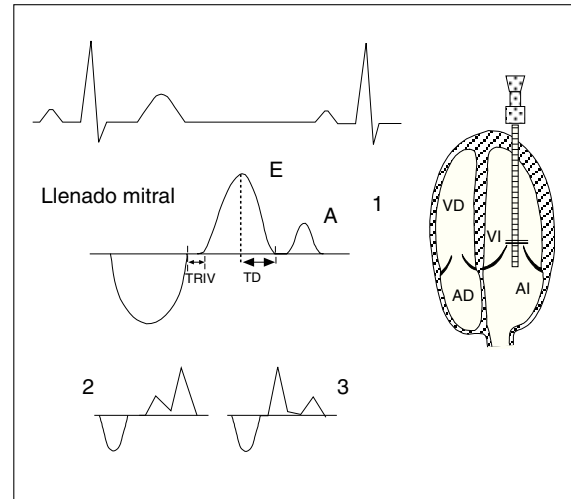


Figura 1. Registro con Doppler pulsado que muestra el tiempo de relajación isovolumétrica (TRIV), los patrones de llenado ventricular desde un llenado normal (1) y de relajación inadecuado (2), el patrón restrictivo (3) y su relación con el ECG.

Un patrón de relajación inadecuado (2) se caracteriza por una disminución de la velocidad de la onda E, un incremento de la velocidad de la onda A, relación E/A < 1, y una prolongación del tiempo de desaceleración (TD) de la onda E y del TRIV.

La disminución de la elasticidad ventricular produce un aumento de la presión auricular izquierda que conlleva un patrón de llenado inverso al anterior, llamado patrón restrictivo (3), con aumento de la velocidad de E, disminución de A y un acortamiento del TD y TRIV (3). En la transición progresiva entre el patrón de relajación anormal o retardada y el patrón restrictivo, el flujo mitral puede tener una morfología "seudonormal".

zada y en ritmo sinusal, y carecieron de toda utilidad en el otro grupo.

Este estudio viene a corroborar otros previos^{5,6} donde, en pacientes con función sistólica normal, ninguno de estos parámetros muestra sensibilidad y especificidad aceptables para su uso clínico.

Los datos descritos carecen de utilidad si se analizan de forma aislada y no dentro del contexto clínico donde se tenga en cuenta datos como la edad, alteraciones del ritmo, frecuencia cardíaca, etiología de la enfermedad y demás.

La ecocardiografía bidimensional también aporta otra información, como diámetros ventriculares y de aurícula izquierda, FE, función valvular, existencia de hipertrofia o movilidad del anillo mitral, que deberán valorarse conjuntamente.

Así, un atleta o un hipertiroido pueden tener un patrón de llenado que parezca un patrón restrictivo (alta velocidad de onda E mayor que A y TD corto) sin que por ello tenga presiones de llenado elevadas. Erróneamente, podría pensarse que ante un patrón de relajación inadecuada (onda A mayor que onda E y TD alargado) la PCP siempre es normal. Esto es cierto en presencia de disfunción sistólica del ventrículo izquierdo (VI), pero no cuando la función sistólica del VI es normal.

Flujo de venas pulmonares

Para intentar corregir estas limitaciones se han descrito otros métodos mediante el análisis del flujo de las venas pulmonares (FVP) aislado o en combinación con datos de la curva de llenado mitral. Éste se obtiene colocando la muestra del Pw en la vena pulmonar superior derecha, que se visualiza en plano apical de 4 cámaras y con ayuda del Doppler color para facilitar su localización. Un flujo normal muestra 2 ondas anterógradas, sistólica y diastólica, y un flujo inverso dependiente de la contracción auricular (fig. 2).

La disminución de la velocidad del flujo sistólico anterógrado con aumento del diastólico se asocia frecuentemente a un aumento de PCP. Sin embargo, en pacientes con fibrilación auricular o disfunción sistólica severa del ventrículo izquierdo puede encontrarse este hallazgo en presencia de PCP normal^{7,8}. A la inversa, en pacientes con funciones auricular y ventricular mantenidas, el flujo sistólico puede estar conservado aún con PCP elevada⁹.

Rossvoll et al¹⁰ estudiaron la diferencia de la duración entre la onda A mitral (Dur A) y el reverso de la onda A (Dur A') en venas pulmonares, en 50 pacientes sometidos a cateterismo cardíaco, la gran mayoría con enfermedad coronaria. En personas sanas la duración de ambas ondas es casi igual. Una mayor duración de esta última (30 ms) se asocia con una presión telediastólica de VI > 15 mmHg, si bien el valor predictivo positivo es bajo, lo que resta utilidad a esta medida. En ese mismo artículo, una fracción sistólica del FVP (velocidad onda sistólica/velocidad onda sistólica + velocidad onda diastó-

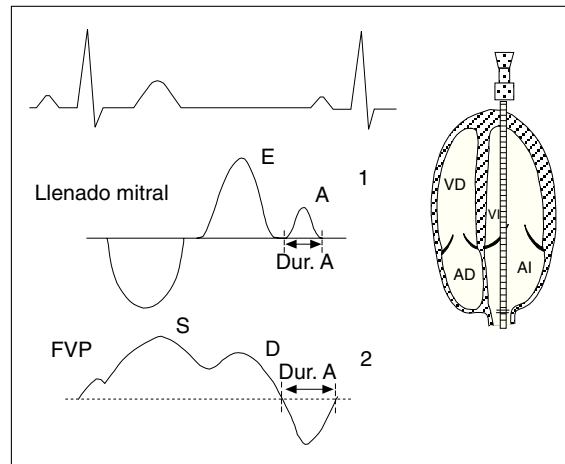


Figura 2. Patrón de llenado mitral normal que muestra la duración de la onda A (Dur. A) (1). Doppler pulsado del flujo de vena pulmonar superior derecha (FVP) con ondas de flujo sistólico (S), diastólica (D) y retrógrada de contracción auricular, que muestra su duración (Dur. A') (2).

lica) < 40% se comportaba como un índice fiable de presiones elevadas.

Otro parámetro valorado ha sido la relación entre el TD de la onda diastólica del FVP y de la onda E de llenado mitral. En 141 pacientes con infarto agudo de miocardio (IAM), el parámetro que mejor se correlaciona con la PCP es el TD diastólico, y se encuentra una correlación negativa entre ambos. Un valor ≤ 160 ms predice una PCP ≥ 18 mmHg con una sensibilidad y una especificidad próximas al 100%, y se afecta poco por el estado de la función sistólica ventricular¹¹. En contraposición, un TD de onda E mitral ≤ 130 ms presentaba una pobre correlación con una sensibilidad alta (86%) pero baja especificidad (59%), lo que indirectamente corrobora su utilidad sólo en pacientes con baja FE.

Aunque en estos estudios el FVP pudo obtenerse satisfactoriamente en la mayoría de los casos, su principal limitación es la dificultad para identificar una buena curva que permita realizar mediciones precisas. Ello se debe a que no siempre es posible que la muestra se mantenga estable en el interior de la vena pulmonar debido a los movimientos respiratorios, especialmente en presencia de una aurícula izquierda dilatada o en ventilación mecánica.

La estimación de la PCP mediante los parámetros obtenidos del análisis del llenado mitral por Doppler pulsado se ve limitada porque aquéllos dependen de la relajación ventricular, lo que provoca que solamente sean fiables en caso de función sistólica deprimida. Además, en presencia de fibrilación auricular, PR largo o taquicardia, los índices descritos no pueden realizarse, por lo que recientemente se han propuesto otros nuevos basados en la velocidad de propagación (VP) del Doppler color en modo M y en el Doppler tisular, que son menos dependientes de la precarga.

Doppler color en modo M

Para su registro en plano apical de 4 cámaras, se analiza la señal del Doppler color del llenado mitral, ajustando la profundidad para incluir todo el ventrículo izquierdo desde la válvula mitral hasta el ápex (unos 4,5 cm). Tras hacer *zoom* de la zona, se alinea el cursor del modo M en el centro de la señal de color. Se obtiene una onda que corresponde a la propagación del Doppler color en modo M, que de forma casi instantánea alcanza el ápex del VI en personas con relajación normal. Con la imagen congelada, la VP se mide como la pendiente de la línea que separa el primer *aliasing* del flujo diastólico precoz (transición azul/rojo) desde el anillo mitral hasta el ápex (normal > 60 cm/s). Teóricamente también se podría medir como la pendiente de cualquiera de las líneas de isovelocidad, para lo cual es útil modificar la línea de base del Doppler color (fig. 3).

Se ha demostrado que la VP es independiente de la presión auricular media y está altamente correlacionada con la tau¹², por lo que puede usarse como un estimador de la relajación ventricular. Por tanto, una VP deprimida (< 40-50 cm/s), se asocia a un retraso de la relajación, y en su presencia, un patrón de llenado mitral de apariencia normal corresponde realmente a un patrón seudonormalizado¹³.

En 45 pacientes ingresados en la Unidad de Cuidados Intensivos del Massachusetts General Hospital, se estudió la utilidad del cociente entre la velocidad pico de la onda E en el flujo mitral y la VP (E/VP) para estimar la PCP¹⁴. Tras describir las características de esta relación en pacientes con PCP normal, disfunción de VI y uso de diuréticos, se encontró que un valor de E/VP > 2,5 predice con aceptable valor predictivo una PCP > 15 mmHg ($r = 0,80$, $p < 0,001$), y su valor puede estimarse median-

te $PCP = 5,27 \times [E/VP] + 4,6$ (SEE 3,1 mmHg). Sin embargo, su utilidad disminuye en presencia de fibrilación auricular¹⁵ y en casos que presentan función sistólica ventricular normal.

Moller et al¹⁶ estudiaron la utilidad de E/VP como predictor de insuficiencia cardíaca y mortalidad intrahospitalaria en un grupo de 110 pacientes con IAM. Una E/VP $\geq 1,5$ se asoció a mayores grados de insuficiencia cardíaca y un TD de la onda E < 140 ms, a mayor mortalidad.

Basado en la relación establecida por la ecuación de Weiss¹⁷ entre la presión de la aurícula izquierda, el tiempo de relajación isovolumétrica y la relajación ventricular estimada por VP, estudiamos la utilidad de estos parámetros en 54 pacientes, portadores de un catéter de Swan-Ganz e ingresados en la UCI del Hospital Yagüe de Burgos. La edad media fue de 64 ± 13 años, un 48% en ventilación mecánica. La mayoría, en ritmo sinusal y con aminosimpatomiméticas. El grupo estaba formado mayoritariamente por pacientes con insuficiencia cardíaca, politraumatismo, postoperatorio de cirugía vascular, síndrome de distrés respiratorio agudo y sepsis. El parámetro combinado $1.000/([2 \times TRIV] + VP)$ se correlaciona fuertemente con la PCP, independientemente de la función sistólica ventricular, según la ecuación de regresión $PCP = 4,5 \times 1.000/([2 \times TRIV] + VP) - 9$. Un valor > 5,5 de este parámetro discrimina entre PCP mayor o menor de 15 mmHg en el 96% de los casos¹⁸. De modo práctico, un TRIV < 80 ms en presencia de FE baja indica descompensación. Pese a las características de los enfermos, solamente 12 (18%) de los 66 pacientes que fueron incluidos al inicio presentaron imágenes no adecuadas para su análisis, por mala ventana ecocardiográfica.

Doppler tisular

Cuando se dirige el haz de ultrasonidos hacia el corazón, éstos se reflejan al chocar contra las estructuras cardíacas. Al igual que ocurre con los hematíes, los tejidos móviles como el miocardio reflejan señales Doppler de baja velocidad que pueden registrarse si el ecocardiógrafo usado dispone de Doppler de muy baja velocidad (Doppler tisular). La colocación de la muestra de Doppler pulsado, generalmente en la porción lateral del anillo mitral en plano apical de 4 cámaras, permite cuantificar la velocidad de esta zona del miocardio. La misma información puede obtenerse colocando la muestra en el septo, cuando haya alteraciones regionales de la contractilidad por isquemia o necrosis que afecten a la movilidad de la cara lateral. El registro presenta una onda sistólica anterógrada, seguida de una imagen en espejo del llenado mitral, con una onda E y una onda A (fig. 4).

La velocidad pico de la onda E obtenida por Doppler tisular (Ea) se correlaciona con la relajación ventricular y es relativamente independiente de la precarga. El cociente entre la velocidad pico de la

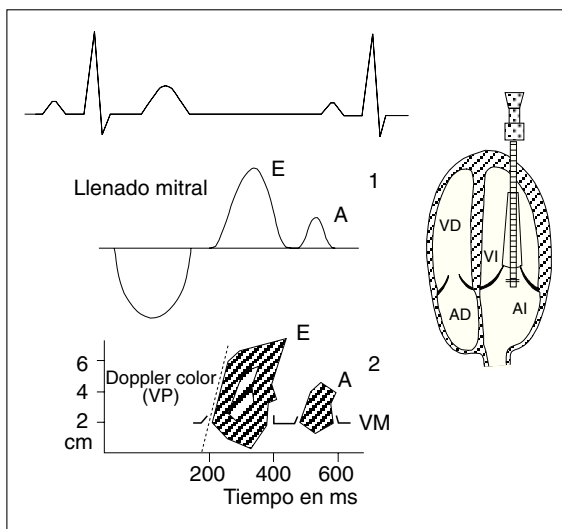


Figura 3. Representación del llenado mitral normal (1) y su relación con el Doppler color en modo M (VP) que muestra la forma de medir la pendiente del flujo de propagación (línea discontinua) (2). VM: válvula mitral.

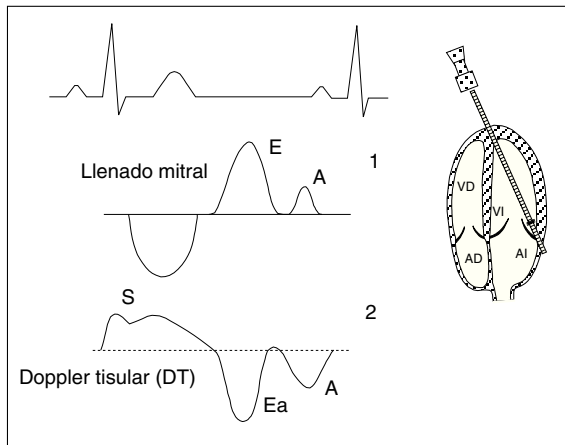


Figura 4. Registro con Doppler tisular pulsado en el anillo mitral que muestra ondas sistólica (S) anterógrada, E y A.

onda E mitral y la velocidad E del anillo lateral mitral (E/Ea) muestra elevadas correlaciones con la PCP¹⁹, valores > 15 predicen una PCP > 15 mmHg prácticamente siempre (PCP = 1,24 [E/Ea + 1,9]). Valores < 8 se asocian con valores normales de la PCP. No obstante, los valores de E/Ea entre 8 y 15 tienen valores predictivos bajos.

La utilidad clínica de los parámetros descritos (resumidos en la tabla 1) depende de 2 factores: por un lado, de la experiencia y el conocimiento técnico de la persona que realiza la exploración y, por otro, de tener presentes los mecanismos fisiológicos que interrelacionan los datos obtenidos por Doppler con las propiedades diastólicas del VI, las condiciones de carga y sus variaciones en diferentes situaciones etiológicas o la respuesta al tratamiento aplicado.

Pese a ello, creemos que datos como la relación E/A, TRIV o TD no sólo pueden obtenerse con facilidad, sino que forman parte del protocolo rutinario que se realiza en un estudio ecocardiográfico básico, como lo son obtener el tamaño de las diferentes cámaras cardíacas o el estado de la función sistólica o valvular. Otros datos que incluyen FVP, o parámetros combinados, pueden usarse en aquellos casos en que el patrón de llenado mitral presente alguna de las limitaciones señaladas anteriormente. Debemos recordar que todos ellos se obtienen por ecocardiografía transtorácica, a la cabecera del paciente, de forma rápida y pueden repetirse cuantas veces sea necesario.

Con el ánimo de comparar los índices descritos en el mismo grupo de enfermos, recientemente²⁰ hemos publicado los datos obtenidos en 70 pacientes ingresados en la UCI del hospital de Burgos y controlados con catéter de Swan-Ganz. Los datos más relevantes se resumen a continuación:

– Pese a que el 70% se encontraba en ventilación mecánica, solamente 5 pacientes fueron excluidos por mala ventana ecocardiográfica y 4, por otras razones técnicas. Únicamente el TD del FVP, aunque es un buen estimador de la PCP, presentó dificultades

TABLA 1. Índices que sugieren presión capilar pulmonar elevada

Relación E/A > 2
TD de la onda E < 180 ms
Fracción sistólica FVP < 40%
TD de la onda diastólica del FVP ≤ 160 ms
Duración reverso onda FVP – duración onda A mitral > 20 ms
E/VP > 2,5
1.000/([2 × TRIV] + VP) > 5,5
E/Ea > 15

FVP: flujo de venas pulmonares; TD: tiempo de desaceleración; TRIV: tiempo de relajación isovolumétrica; VP: velocidad de propagación.

des de registro y sólo se obtuvo en 36 (59%) de los 61 pacientes finalmente analizados.

– Los índices que combinan parámetros de flujo transmitral, especialmente TRIV, con parámetros relacionados con la relajación (E/VP, E/Ea o 1.000/[2 × TRIV] + VP) proporcionan la mejor estimación de la PCP. Lo mismo ocurre para reflejar los cambios inducidos por el tratamiento.

– En pacientes con función sistólica normal, los índices que utilizan la velocidad de propagación del Doppler color modo-M obtienen la mejor correlación.

– Las principales limitaciones de estos estudios son el número de pacientes incluidos, sus muy diferentes características y la controversia ya clásica de la relación entre la presión pulmonar de enclavamiento y la presión auricular izquierda y su utilidad como indicador de la precarga ventricular izquierda.

CONCLUSIONES

Actualmente podemos obtener la información hemodinámica que se precisa para el tratamiento de los pacientes críticos, de forma no invasiva, mediante eco-Doppler.

Los datos de la función diastólica son reproducibles, fiables y pueden estimar la PCP.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Martín de Frutos Herranz por la realización de los dibujos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ayuela JM, López Pérez JM, Fiol M. Ecocardiografía en el paciente crítico. Barcelona: Springer Verlag Ibérica, 2000.
2. Brown JM. Use of ecocardiography for hemodynamic monitoring. Crit Care Med 2002;30:1361-4.
3. Nishimura RA, Tajik AJ. Evaluation of diastolic filling of left ventricle in health and disease: Doppler echocardiography is the clinician's Rosetta stone. J Am Coll Cardiol 1997;30:8-18.
4. Nishimura RA, Appleton CP, Redfield MM, Ilstrup DM, Holmes DR Jr, Tajik AJ. Noninvasive Doppler echocardiographic evaluation of left ventricular filling pressures in patients with cardiomyopathies: a simultaneous Doppler echocardiographic and cardiac catheterization study. J Am Coll Cardiol 1996;28:1226-33.
5. Vanoverschelde JIJ, Robert AR, Gerbaux A, Michel X, Hanet C, Wijns W. Noninvasive estimation of pulmonary arterial

wedge pressure with Doppler transmitral flow velocity pattern in patients with known heart disease. *Am J Cardiol* 1995;75:383-9.

6. Giannuzzi P, Imparato A, Temporelli PL, De Vito F, Silva PL, Scapellato F, et al. Doppler derived mitral deceleration time of early filling as a strong predictor of pulmonary arterial wedge pressure in postinfarction patients with left ventricular systolic dysfunction. *J Am Coll Cardiol* 1994;23:1.630-7.

7. Chirillo F, Brunazzi MC, Barbiero M, Giavarina D, Pasqualini M, Franceschini-Grisolia E, et al. Estimating mean pulmonary wedge pressure in patients with chronic atrial fibrillation from transthoracic Doppler indexes of mitral and pulmonary venous flow velocity. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:19-26

8. Yamamoto K, Nishimura RA, Chaliki HP, Appleton CP, Holmes Dr, Redfield MM. Determination of left ventricular filling pressure by Doppler Echocardiography in patients with coronary artery disease: Critical role of left ventricular systolic function. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:1819-26.

9. Nishimura RA, Abel MD, Hatle LK, Tajik AJ. Relation of pulmonary vein to mitral flow velocities by transesophageal Doppler echocardiography: effect of different loading conditions. *Circulation* 1990;81:1488-97.

10. Rossvoll O, Hatle LK. Pulmonary venous flow velocities recorder by transthoracic Doppler ultrasound: relation to left ventricular diastolic pressures. *J Am Coll Cardiol* 1993;21:1687-96.

11. Yamamuro A, Yoshida K, Hozumi T, Akasaka T, Takagi T, Kaji S, et al. Noninvasive evaluation of pulmonary capillary wedge pressure in patients with acute myocardial infarction by deceleration time of pulmonary venous flow velocity in diastole. *J Am Coll Cardiol* 1999;34:90-4.

12. Garcia MJ, Smedira NG, Greenberg NL, Main M, Firstenberg MS, Odabashian J, et al. Color M-mode Doppler flow propagation velocity is a preload insensitive index of left ventricular relaxation: Animal and human validation. *J Am Coll Cardiol* 2000;35:201-8.

13. Takatsuji H, Mikami T, Urasawa KI, Teranishi J, Onozuka H, Takagi, et al. 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;27:365-1.

14. Garcia MJ, Ares MA, Asher C, Rodríguez L, Vandervoort P, Thomas JD. An index of early left ventricular filling that combined with pulsed Doppler peak E velocity may estimate capillary wedge pressure. *J Am Coll Cardiol* 1997;29:448-54.

15. Nagueh SF, Kopelen HA, Quiñones MA. Assessment of left ventricular filling pressures by Doppler in the presence of atrial fibrillation. *Circulation* 1996;94:2138-45.

16. Moller JE, Sondergaard E, Seward JB, Appleton CP, Egstrup K. Ratio of left ventricular peak E-wave velocity to flow propagation velocity assessed by color M- mode Doppler echocardiography in first myocardial infarction: prognostic and clinical implications. *J Am Coll Cardiol* 2000;35:363-70.

17. Weiss JL, Frederiksen JW, Weisfeldt ML. Hemodynamic determinants of the time-course of fall in canine left ventricular pressure. *J Clin Invest* 1976;58:751-60.

18. González-Vílchez F, Ares M, Ayuela J, Alonso L. Combined use of pulsed and color M-mode Doppler echocardiography for the estimation of pulmonary capillary wedge pressure: An empirical approach based on an analytical relation. *J Am Coll Cardiol* 1999;34:515-23.

19. Nagueh SF, Middleton KJ, Kopelen HA, Zoghbi WA, Quiñones MA. Doppler tissue imaging: a noninvasive technique for evaluation of left ventricular relaxation and estimation of filling pressures. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:1527-33.

20. B González-Vílchez F, Ayuela J, Ares M, Mata N, González AG, Durán RM. Comparison of Doppler echocardiography, color M-mode Doppler and Doppler tissue imaging for the estimation of pulmonary capillary wedge pressure. *J Am Soc Echocardiogr* 2002;15:1245-50.