



La era de las mediciones no invasivas: ecuaciones ecocardiográficas para determinar las variables en el test de reactividad vascular pulmonar

Tania Muñoz-Hernández,* Elizabeth Hirschhaut-Schor,* Simón Tovar-Blanco,* Guillermo Lara-Boada*

RESUMEN

Introducción y objetivos: El cateterismo cardiaco derecho (CCD) es el método de oro para realizar el test de reactividad vascular pulmonar (TRVP); sin embargo, la ecocardiografía ha demostrado ser efectiva en la estimación de diferentes variables hemodinámicas. Este estudio precisa demostrar que con el índice ecocardiográfico Doppler, velocidad máxima de la regurgitación tricuspídea (VRT)/integral tiempo-velocidad del tracto de salida del ventrículo derecho (ITVtsvd), obtendremos un valor de resistencia vascular pulmonar (RVP) comparable al método invasivo. Evaluamos su aplicabilidad en el TRVP. **Métodos:** Estudio prospectivo, doble ciego, observacional en 30 pacientes, realizado en dos etapas: A) Obtuvimos mediciones simultáneas de RVP por método invasivo y ecocardiografía (20). Las mediciones del índice VRT/ITVtsvd se correlacionaron con RVP invasiva usando el análisis de regresión lineal. Se modeló una ecuación para calcular RVP en unidades Wood (UW) mediante ecocardiografía, los resultados se compararon con mediciones de RVP invasiva utilizando el análisis de Bland-Altman. B) Se practicó TRVP y se hizo mediciones simultáneas de RVP y presión media arterial pulmonar (PMAP) con el método ecocardiográfico e invasivo (10). Utilizamos la ecuación formulada por Abbas (RVPa) y otra modificada propuesta en este estudio (RVPt). **Resultados:** En la primera etapa la relación VRT/ITVtsvd correlacionó bien con las mediciones de RVP invasiva ($R^2 = 0.95$). El análisis Bland-Altman usando $RVP = 10 \times VRT/ITVtsvd + 0.36$ mostró límites de concordancia satisfactoria (media ± 0.36 , L: 0.12-0.61). En el TRVP hubo alta correlación de RVP entre los dos métodos empleando las dos ecuaciones. También encontramos alta correlación con PMAP. **Conclusiones:** El ecocardiograma Doppler ofrece un método confiable y no invasivo para medir la RVP y PMAP en el TRVP.

Palabras clave: Cateterismo cardiaco derecho, unidades Wood, ecocardiografía Doppler, test de reactividad vascular pulmonar.

ABSTRACT

Introduction and objectives: Right catheterization is the gold method to perform the pulmonary vascular reactivity test (PVRT), however, echocardiography has shown efficacy in the estimation of different hemodynamic variables. This study needs to demonstrate with the echocardiographic Doppler index, maximum speed of the tricuspid regurgitation (STR)/time-speed integral of the right ventricular outflow tract (TSIrvot), we obtain a pulmonary vascular resistance (PVR) value comparable to the invasive method. We evaluate its applicability in the PVRT. **Methods:** Prospective, double-blind, observational study in 30 patients, conducted in two stages: A) We obtained simultaneous measurements of PVR by invasive method and echocardiography (20). Measurements of the STR/TSIrvot index were correlated with invasive PVR using the analysis of linear regression. An equation was modeled to calculate PVR in Wood units (WU) by echocardiography, the results were compared with invasive PVR measurements using the Bland-Altman analysis. B) PVRT was performed by simultaneous measurement of PVR and pulmonary arterial medium pressure (PAMP) with the echocardiographic and invasive method (10). We use the equation formulated by Abbas and another modified proposal in this study. **Results:** In the first stage, the STR/TSIrvot ratio correlated well with the invasive PVR measurements ($r = 0.95$). The Bland-Altman analysis using $PVR = 10 \times STR/TSIrvot + 0.36$ showed satisfactory concordance limits (mean ± 0.36 , L: 0.12-0.61). In the PVRT there was high correlation of PVR between the two methods using the two equations. We also found high correlation of PAMP. **Conclusions:** Doppler echocardiography offers a reliable and non-invasive method to measure PVR and PAMP in the PVRT.

Key words: Right heart catheterization, Wood units, Doppler echocardiography, pulmonary vascular reactivity test.

* Departamento de Cardiología, Hospital Militar «Dr. Carlos Arvelo». Caracas, Venezuela.

PUNTOS CLAVES:

¿Qué se sabe del tema?

Hay varios trabajos que proponen el cálculo de la RVP por ecocardiografía Doppler a partir de variables hemodinámicas fáciles de obtener, la mayoría utilizan el principio de $RVP = \Delta p/Qp$. El trabajo publicado por Abbas y colaboradores (2003) inició con éxito esta línea de investigación con la ecuación $RVP = 10 \times VRT/ITVtsvd + 0.16$ que luego la modificó para valores más elevados del índice $VRT/ITVtsvd$.

¿Qué aporta de nuevo?

En la actualidad, no hay reportes de estudios acerca de la medición simultánea de RVP y PMAP por cateterismo y ecocardiografía en el test de reactividad vascular pulmonar. En este trabajo se analizó de manera meticulosa la ecuación original de Abbas y se propuso una nueva ecuación que toma en cuenta el tamaño del ventrículo derecho y una medición aproximada del gasto cardiaco (GC) a partir de $ITVtsvd$. Se estudiaron las tres variables hemodinámicas involucradas para los criterios de positividad del TRVP.

INTRODUCCIÓN

La resistencia vascular pulmonar (RVP) es una variable hemodinámica muy útil para el manejo de pacientes con patologías cardiovasculares y pulmonares avanzadas, sirve para evaluar la respuesta terapéutica en sujetos con insuficiencia cardiaca congestiva^{1,2} y en la evaluación de candidatos a trasplantes cardiacos y hepáticos.³⁻⁷ Asimismo, es un parámetro pronóstico para aquéllos con enfermedades congénitas,⁸ y se considera un parámetro crítico para la evaluación de hipertensión pulmonar (HP) independiente de la etiología.⁹ La RVP se calcula de manera invasiva por la relación del gradiente de presión y el flujo transpulmonar,¹⁰ Abbas y colaboradores^{11,12} propusieron estimar la medición ecocardiográfica de la RVP mediante la relación velocidad máxima de la regurgitación tricuspídea (VRT)/integral tiempo-velocidad del tracto de salida del ventrículo derecho ($ITVtsvd$), la cual representa el método más utilizado hoy en día, entre otros propuestos para su cálculo.¹³⁻¹⁸ Por otra parte, el TRVP tiene indicaciones muy precisas según las guías de la Sociedad Europea de Cardiología para el diagnóstico, tratamiento y evaluación del pronóstico HP: pacientes

con HAP (hipertensión arterial pulmonar) idiopática y hereditaria, e HAP asociado al consumo de drogas.⁹ En la actualidad, todavía se considera el cateterismo derecho como el estándar de oro para el diagnóstico definitivo de HAP y el método de elección para realizar el TRVP.⁹ No hay reportes de estudios que comparen en el TRVP, las mediciones simultáneas de RVP y PMAP con el método invasivo y el Doppler ecocardiográfico.¹⁹ En esta investigación nos planteamos tres objetivos: 1) Revalidar la ecuación de Abbas en un grupo de pacientes (20) con indicación de cateterismo cardiaco derecho (CCD) como diagnóstico. 2) Comparar las mediciones invasivas y no invasivas de PMAP y RVP en un grupo que se les realizó el TRVP y comprobar la efectividad de las mediciones ecocardiográficas en dicho test. 3) Demostrar en este grupo la utilidad y eficiencia de una novedosa ecuación ecocardiográfica para calcular la RVP al compararla con las ecuaciones de Abbas¹⁰ y el CCD.

Tabla 1: Características clínicas, hemodinámicas y demográficas de los pacientes (grupo 1).

Sexo (M/F)	15/5
Edad media	48 (21-78)
FE media (%)	55 (30-75)
PMAP media mmHg	20 (13-30)
PCP media	12 (6-20)
≤ 12 mmHg	12
13-19 mmHg	7
≥ 20 mmHg	1
RVP (cat) (UW)	1.5 (1.22-2.02)
RVP (SG)	1.7 (1.28-2.95)
Diagnósticos: Reemplazo valvular aórtico revascularización	1
Reemplazo valvular mitral	1
Resección de mixoma + revascularización	1
Revascularización miocárdica	6
Corrección de aneurisma aórtico	1
CIV	3
CIA	6
Dilatación del tronco de la arteria pulmonar	1

FE = fracción de eyección, PCP = presión capilar pulmonar, PMAP = presión media de la arteria pulmonar, RVP (cat) = resistencia vascular pulmonar obtenida en el laboratorio de hemodinamia con catéter de Judkins, RVP (SG) = resistencia vascular pulmonar obtenida con catéter de Swan Ganz, CIV = comunicación interventricular, CIA = comunicación interauricular.

**Tabla 2:** Características clínicas, hemodinámicas y demográficas de los pacientes (grupo 2).

Sexo (M/F)	5/5
Edad media	47 (27-63)
Fracción de eyección media (%)	55 (30-75)
Presión media arterial pulmonar media mmHg	27 (17-62)
Presión capilar pulmonar mmHg	
Media	12 (8-31)
≤ 12 mmHg	8
13-19 mmHg	0
≥ 20 mmHg	2
RVP (cat) media (UW)	6.29 (1.25-16.4)
RVP (eco) media (UW)	3.20 (1.64-8.16)*
GC (L/min) media	4 (3.2-5.2)
DVD media; mm	34 (22-55)
ITVtsvd media; cm	13.72 (6-22)
Diagnósticos:	
CIA OS HAP	2
Cardiopatía valvular tipo insuficiencia mitral severa HAP severa	2
EPOC HP severa	3
Cardiopatía valvular tipo doble lesión leve aórtica y mitral	1
CIV	1
Dilatación del tronco de la arteria pulmonar	1

GC = gasto cardiaco, DVD = diámetro del ventrículo derecho, CIA OS = comunicación interauricular ostium secundum, CIV = comunicación interventricular, EPOC = enfermedad pulmonar obstructiva crónica, HAP = hipertensión arterial pulmonar, HP = hipertensión pulmonar, RVPcat = resistencia vascular pulmonar por cateterismo, RVPeco = resistencia vascular pulmonar por ecocardiografía.

*Cálculo obtenido por la ecuación propuesta por Abbas: $RVPeco = RTV/ITVtsvd \times 10 + 0.16$.

MÉTODOS

Población y muestra: es un estudio prospectivo, doble ciego, observacional que se dividió en dos etapas. En la primera parte fueron seleccionados 20 pacientes: 10 con ingreso a la unidad de terapia intensiva (UTI) y con colocación de catéter de Swan Ganz por presentar patologías médicas que ameritaron la medición de variables hemodinámicas; y 10 sujetos de la consulta u hospitalización del Departamento de Cardiología del Centro con indicación de CCD para confirmar sospecha diagnóstica clínica y ecocardiográfica de HP. No se hizo distinción por grupo etario, sexo, comorbilidades, ni se omitió la medicación (Tabla 1). Todos ingresaron a

nuestro centro entre febrero y agosto de 2008. Criterio de exclusión: regurgitación tricuspídea > 2+. Las características clínicas, hemodinámicas y demográficas se muestran en la Tabla 1.

En la segunda parte del estudio se incluyeron 11 pacientes referidos de la consulta de Neumología, Cardiología Pediátrica y Cardiología del mismo centro con diagnóstico presuntivo de hipertensión pulmonar de diferentes etiologías, grado de severidad y criterios ecocardiográficos para realizar el TRVP. Éstos fueron estudiados de julio a diciembre de 2009. Criterios de exclusión: sujetos con inestabilidad hemodinámica, hipoxemia crónica o aguda, y trastornos de coagulación. Un paciente fue retirado del estudio por la imposibilidad de realizar las mediciones con el catéter y en dos sólo se hicieron las mediciones iniciales por la importante mejoría hemodinámica pulmonar que presentaron respecto al ecocardiograma de referencia. Las características clínicas, hemodinámicas y demográficas se muestran en la Tabla 2.

En la Tabla 3 se muestran los valores obtenidos en los 10 pacientes del TRVP de índice VRT/ITVtsvd, primera ecuación de Abbas, se aplicó el algoritmo de Abbas y CCD. En la Tabla 4 están representados los valores obtenidos de PMAP calculados con la ecuación de Chemla y CCD en los tiempos t0, t30 y tR del test.

Todos los pacientes del Departamento de Cardiología (ambas etapas) firmaron consentimiento informado. El estudio fue aprobado por el Comité de Bioética y Ética Médica de la Institución.

Tabla 3: Mediciones invasiva y no invasiva de la resistencia vascular pulmonar en el test de reactividad vascular pulmonar.

VRT/ITV basal	RVP (eco) basal*	RVP (algoritmo)	RVP (cat) basal
0.14	1.56	1.56	1.25
0.16	1.76	1.76	1.80
0.22	2.36	2.36	2.16
0.23	2.46	2.46	3.80
0.24	2.56	2.56	4.18
0.25	2.66	2.66	4.20
0.36	3.76	8.90	11.50
0.38	3.96	7.36	16.40
0.53	5.46	10.00	10.50
0.80	8.16	13.33	14.37

* Obtenida a partir de la ecuación de Abbas $RVPeco = 10 \times VRT/ITVtsvd + 0.16$.

Tabla 4: Mediciones invasiva y no invasiva de PMAP durante las etapas t0, t3 y recuperación del TRVP.

PMAPeco* t0	PMAP Ct t0	PMAPeco t30	PMAP Ct t30	PMAPeco tR	PMAPCt tR
25	17				
30	23				
61	62	56	57	56	57
49	61	57	60	53	54
64	54	47	48	47	48
34	33	26	27	28	30
33	32	28	30	27	33
21	18	16	16	15	14
35	27	25	22	25	22
50	54	50	51	63	64

* PMAP eco = 0.61 x PSAP + 1.95.

Abreviaciones y acrónimos

VRT	Velocidad máxima de la regurgitación tricuspídea
ITVtsvd	Integral tiempo-velocidad del tracto de salida del ventrículo derecho
TRVP	Test de reactividad vascular pulmonar
PMAP	Presión media de la arteria pulmonar
HP	Hipertensión pulmonar
RVP SG	Resistencia vascular pulmonar invasiva Swan Ganz

Abbreviations and acronyms

TRV	Peak tricuspid regurgitant velocity
TVIrvot	Right ventricular outflow tract time-velocity integral
PVRT	Pulmonary vascular reactivity test
MPAP	Mean pulmonary artery pressure
PH	Pulmonary hypertension
PVR SG	Invasive pulmonary vascular resistance Swan Ganz

Ecocardiografía: Los mediciones Doppler y bidimensional se realizaron con los equipos Philips Sonos 7500 S3 y Philips iE33 SE1 de acuerdo a las guías de la Sociedad Americana de Ecocardiografía.²⁰ La relación VRT/ITVtsvd se determinó por ecocardiografía Doppler al utilizar la vista del eje paraesternal corto a nivel de grandes vasos. La ITVtsvd (cm) se obtuvo colocando el Doppler pulsado en un volumen de muestra a 5 mm del TSVD proximal a la válvula pulmonar justo antes que comience el cierre y la VRT (m/s) se obtuvo con Doppler continuo colocado en

el flujo regurgitante tricuspídeo a nivel valvular. También se determinó esta variable en la vista con cuatro cámaras, ello con la intención de obtener máxima velocidad. Con ésta, la presión de la aurícula derecha (PAD) y empleando la ecuación modificada de Bernoulli se obtuvieron los valores de presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP)^{21,22} para después calcular la PMAP con la ecuación propuesta por Chemla.²³ En ambas partes del trabajo las mediciones fueron realizadas tres veces y se promediaron. La medición de la fracción de eyección (FE) se determinó por el método de Simpson.²⁰ La medición del diámetro del ventrículo derecho (DVD) se hizo en el eje paraesternal largo y se evaluó el TSVD proximal o subvalvular medido desde el ángulo formado por la unión del anillo aórtico con el septum basal y la pared libre del VD al final de la diástole.⁶

Cateterismo derecho: a los pacientes del primer grupo (10), en la Unidad de Terapia Intensiva (UTI), se les colocó catéter de Swan Ganz arrow, 6 o 7 french (F) para obtener las mediciones de presiones y flujos pulmonares. Se empleó la técnica de Seldinger para el abordaje de la vena yugular interna (VYI) o subclavia.²⁴ El gasto cardiaco (GC) se determinó por la técnica de termodilución y la RVP con la ecuación: $RVP: PMAP-PCP/GC$.²⁴⁻²⁶ En el laboratorio de hemodinamia se utilizó catéter Judkins 6 F en todos los pacientes, con abordaje venoso y arterial femoral, guiado por fluoroscopia. El GC se obtuvo por medio del cálculo de Fick y consumo de O₂ (VO₂). $GC \text{ (in L} \cdot \text{min}^{-1}) = VO_2 / (CaO_2 - CvO_2)$.^{24,27}

El TRVP se realizó en el laboratorio de hemodinamia con abordaje venoso central de VYI y colocación de catéter de Swan Ganz. Se administraron 20 µg de iloprost inhalado con mediciones simultáneas de las variables de VRT, ITVtsvd, PMAP. El GC y la presión capilar pulmonar



(PCP) se obtuvieron por termodilución y acuñamiento, respectivamente. Las mediciones se efectuaron a los 0, 5, 10, 15, 30 minutos y reposo.^{28,29}

Tomamos como criterio de positividad del TRVP un descenso > 20% de la PMAP y la RVP sin modificar el GC.³⁰

Análisis estadístico

Se utilizó software MedCalc statistic 2019 versión 18.11.3/ 14.0 de SPSS y Real Statistics Excel. Se realizó análisis de regresión lineal entre el método invasivo RVP (UW) y no invasivo VRT/ITV en ambas partes del estudio. También se empleó entre los valores de RVP obtenidos por ecocardiografía al utilizar la ecuación y algoritmo de Abbas¹² y la ecuación propuesta en este trabajo. Se determinó el coeficiente de correlación de Pearson en todos los casos, y se derivó una ecuación de regresión. Los valores calculados se estudiaron al utilizar el análisis de Bland-Altman. Usando la curva ROC se obtuvo un valor de corte para VRT/ITVtsvd y RVP (caterismo) para predecir valores elevados de RVP > 4.5 UW con valores de sensibilidad y especificidad equilibrados.³¹

Las imágenes fueron reevaluadas para cuantificar la confiabilidad del intraobservador e interobservador.

RESULTADOS

En el primer grupo analizado se encontró una PCP mayor de 12 mmHg en siete pacientes. Diez presentaron cardiopatía izquierda de diferente etiología (Tabla 1). El análisis de correlación lineal entre la RVPcat y VRT/ITVtsvd mostró alta correlación ($R^2 = 0.92$, 95% IC). La ecuación derivada de la regresión lineal fue $RV_{Peco} = 10 \times VRT/ITVtsvd + 0.36$ (Figura 1).

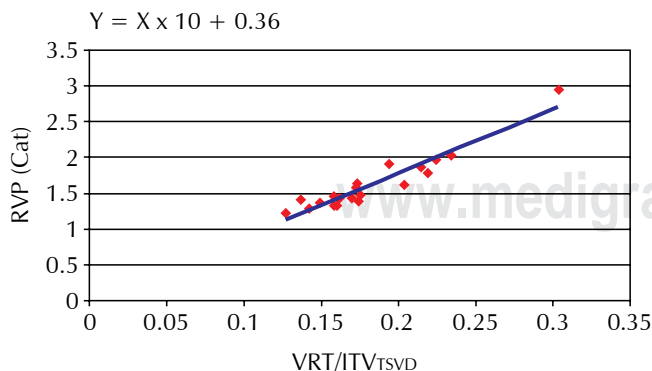


Figura 1: Análisis de regresión lineal entre la RVP por cateterismo derecho y la relación VRT/ITVtsvd obtenida por ecocardiografía Doppler (grupo 1: 20 pacientes).

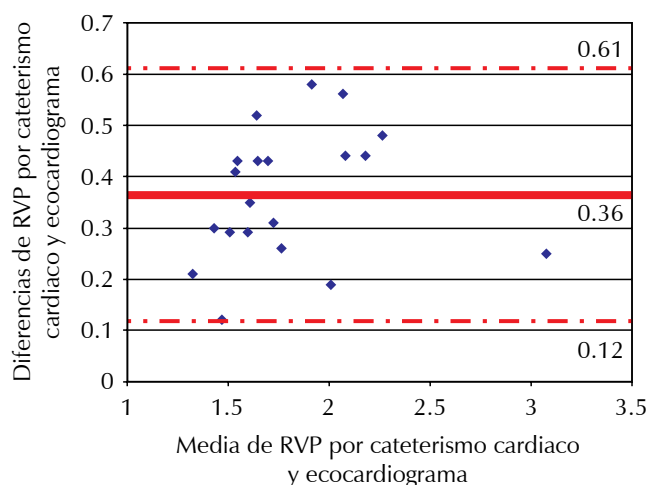


Figura 2: Análisis de Bland-Altman, la cual muestra los límites de acuerdo entre la RVPcat y RVPeCo.

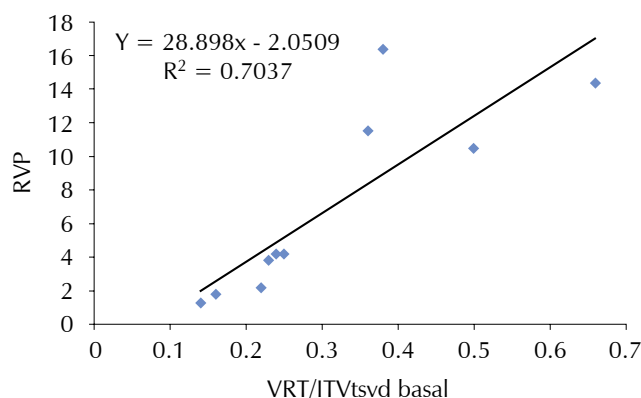


Figura 3: Análisis de regresión lineal entre la RVP invasiva y la relación VRT/ITVtsvd en la etapa inicial del TRVP(t0).

Al aplicar el análisis de Bland-Altman los valores de RVP de esta ecuación mostraron límites satisfactorios de acuerdo con la RVPcat, con valor promedio 0.36 (DE: 0.13-0.6) (Figura 2).

En el segundo grupo analizado (Tabla 2), ocho de ellos presentaron PCP igual o menor de 12 mmHg. Según la clasificación de HP clínica aceptada por la Sociedad Española de cardiología (SEC), los subgrupos quedan definidos así: 1.4.4. Cardiopatía congénita: Comunicación interauricular (CIA) (2), Comunicación interventricular (CIV) (1). 2.3. Valvulopatías: valvulopatía mitral tipo insuficiencia mitral (IM) severa (2), valvulopatía aórtica tipo doble lesión aórtica y mitral (1). 3.1. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) severa + HP severa (3) y 3.5 enfermedades del desarrollo pulmonar: dilatación del tronco de la arteria

pulmonar (1). A diferencia del primer grupo, la mayoría de los pacientes reportaron altos valores de RVP por ser pacientes candidatos a TRVP (Tabla 2).

En la segunda etapa del estudio el análisis de correlación lineal entre la RVPcat y RTV/ITVtsvd basal mostró buena correlación ($r = 0.70$, 95% IC) que se superó al excluir los valores más altos de RVPcat ($R^2 = 0.92$, 95% IC) (Figuras 3 y 4).

También hubo reporte de alta correlación entre ambos métodos al excluir los tres valores más altos a los 30 minutos del test y en la etapa de recuperación ($R^2 = 0.89$ en ambos casos) (Figuras 5 y 6). Previo a la exclusión, el coeficiente de correlación fue de $R^2 = 0.56$ (figura no mostrado en el estudio). Se estimó el índice de Youden (curva ROC) obteniendo que un valor de corte en la relación VRT/ITVtsvd de 0.24 provee 95% de sensibilidad y 100% de especificidad para determinar RVP de 4.67 UW en la etapa basal del TRVP (Figura 7).

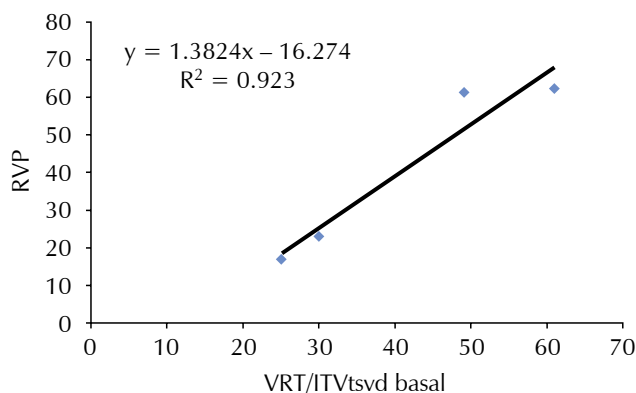


Figura 4: Análisis de regresión lineal entre la RVP invasiva y la relación VRT/ITVtsvd basal luego de excluir los cuatro valores más altos obtenidos por cateterismo.

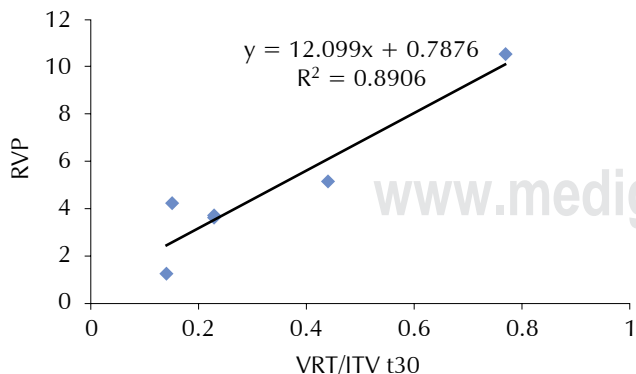


Figura 5: Análisis de regresión lineal entre la RVP invasiva y la relación VRT/ITVtsvd obtenida a los 30 minutos del TRVP luego de excluir los tres valores más elevados.

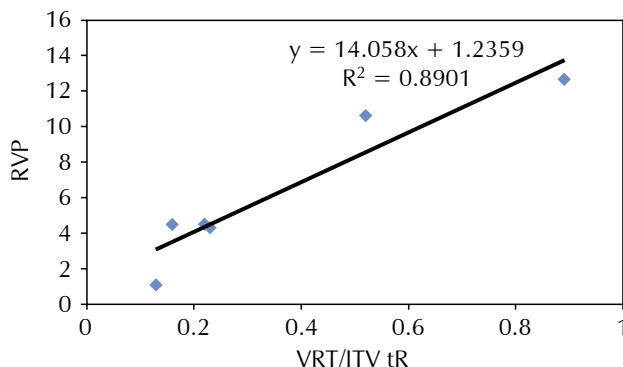


Figura 6: Análisis de regresión lineal entre la RVP invasiva y la relación VRT/ITVtsvd obtenida en la etapa de recuperación del TRVP luego de excluir los tres valores más elevados.

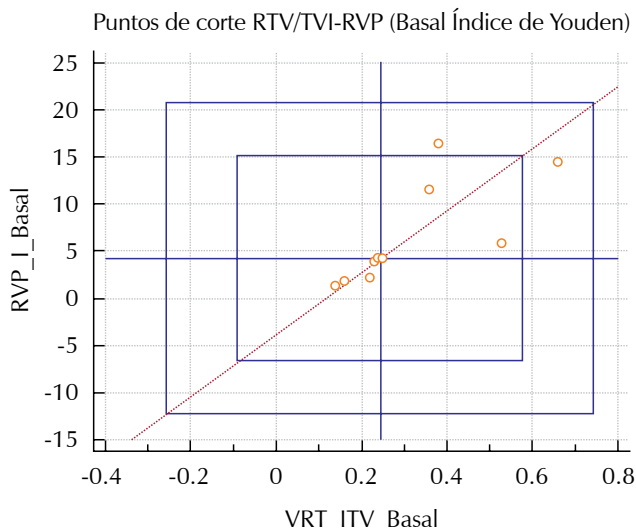


Figura 7: Curva ROC: valor de corte 0.24, proporcionó 95% de sensibilidad y 100% de especificidad para determinar RVP > 4.67 UW en la etapa basal del TRVP.

Encontramos muy alta correlación ($R^2 = 0.97$) al comparar los valores de RVP obtenidos por el algoritmo de Abbas (si el índice VRT/ITVtsvd < 0.275, la RVPeco = VRT/ITVtsvd \times 10 + 0.16. Si el índice VRT/ITVtsvd \geq 0.275, la RVPa = VRT²/ITVtsvd \times 5) y la ecuación propuesta en este trabajo [(RVPt = VRT \times DVDITVtsvd] \times factor de corrección del gasto cardiaco (fcGC)/ITVtsvd) (Figura 8).

La correlación obtenida cuando se compararon ambas ecuaciones con los valores del CCD fueron altas ($R^2 = 0.78$ y $R^2 = 0.84$, respectivamente) (Figuras 9 y 10). El análisis de Bland-Altman mostró límites de concordancia satisfactorios entre los métodos con diferencias medias



entre los métodos similares (Figuras 9 y 10). Obtuvimos los valores de PMAP por ecocardiografía a partir de la fórmula propuesta por Chemla y colegas:²³ $PMAP = 0.61 \times PSAP + 1.95$. Se encontró alta correlación en el análisis de regresión lineal entre la PMA_{Peco} y PMA_{cat} en el tiempo basal (t0) ($R^2 = 0.92$, IC 95%), con diferencia media entre los métodos menor de uno y satisfactorios límites de concordancia (media 0.22; LC:1.52/-1.09) (Figura 11). El TRVP reportó negativo en todos los pacientes.

DISCUSIÓN

Han pasado 15 años desde que Abbas y su equipo¹¹ publicaron un trabajo en el cual propusieron una sencilla ecuación ecocardiográfica Doppler: $RVP = TVR/ITV_{tsvd} \times 10 + 0.16$. Como se sabe, la RVP está directamente relacionada con el Gradiente de presión (ΔP) e inversamente con el gasto cardiaco. Según este autor, sus equivalentes ecocardiográficos estarían representados por la VRT como una medida de gradiente de presión e TVI como una medida del flujo cardiaco. Sin embargo, el trabajo tenía la

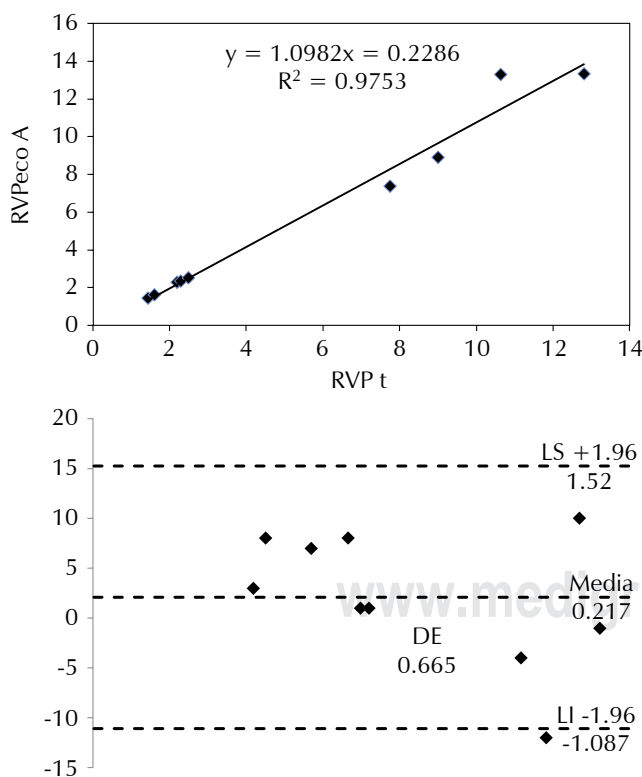


Figura 8: Análisis de regresión lineal y Bland-Altman entre la RVP obtenida por el algoritmo de Abbas y la ecuación propuesta en este estudio (RVPt).

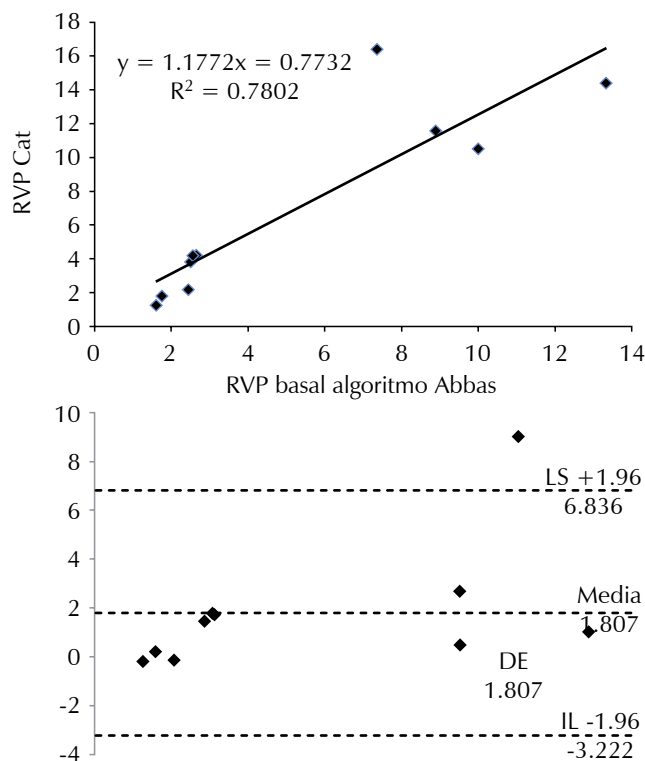


Figura 9: Análisis de regresión lineal y Bland-Altman entre la RVP obtenida por el algoritmo de Abbas y el cateterismo cardiaco.

limitante de excluir a todos los pacientes con regurgitación tricuspídea moderada y severa, lo cual representa justamente a la población que podría resultar más necesitada y favorecida. En años sucesivos, surgieron publicaciones orientadas en darle validez a esta ecuación,³²⁻³⁶ debatir su contenido¹⁶⁻¹⁸ o establecer diferentes planteamientos y variables hemodinámicas para el cálculo de la RVP.^{13-16,37,38}

Uno de los trabajos que propone otra variable ecocardiográfica para determinar la RVP, es el presentado por Gudurevan y asociados,¹⁴ quienes exponen que existe una correlación inversa entre la velocidad sistólica del anillo tricuspídeo (VSt) y la RVP, y determinan que una velocidad < 10 cm/s equivale a una RVP > 12.5 UW. Por su parte Haddad y colaboradores,¹³ propusieron en su trabajo un índice para obtener $RVP_{eco} = PSAP/FC \times ITV_{tsvd}$; en el que un valor de corte de 0.076 proporcionó 86% de sensibilidad y 82% de especificidad para determinar índice de resistencia vascular pulmonar (IRVP) > 15 UW/m². Mencionó además que los sujetos con valores elevados de RVP, correlacionaban bien usando la ecuación propuesta por Abbas ($R^2 = 0.72$), lo cual coincide con lo reportado en este trabajo en los pacientes del TRVP (Figura 3).

Un índice propuesto por Scapellato y su equipo,¹⁵ requiere de la medición del periodo preeyectivo pulmonar (PPEP), tiempo de aceleración pulmonar (TAP) y tiempo sistólico total (TST) ($RVP = PPEP/TAP/TST$); reportó elevada correlación con RVP obtenida mediante cateterismo cardiaco ($R^2 = 0.96$). Un índice > 2.6 predice una $RVP > 2.5$ UW cuando las resistencias se encuentran entre 0-8 UW. Esta ecuación no aplicó en el trabajo de Haddad y su grupo por baja correlación ($R^2 = 0.30$).

Vlahos y asociados³² realizaron un estudio prospectivo en 12 pacientes candidatos a trasplante hepático y obtención de la RVP por cateterismo derecho. Analizaron el índice VRT/ITVtsvd y VRT/ITVtsvd corregido por el diámetro del TSVD, encontraron que ambos correlacionaron bien con RVP obtenida por cateterización $R^2 = 0.711$ y $R^2 = 0.731$, respectivamente, incluso en pacientes con valores elevados de RVP. Concluyeron en su estudio que la relación VRT/ITVtsvd con un valor de 0.38 puede proveer una especificidad de 100% para RVP de 8 UW.

Opatoswky y colaboradores,¹⁷ en 2013, publicaron un trabajo donde derivan dos ecuaciones para estimar la

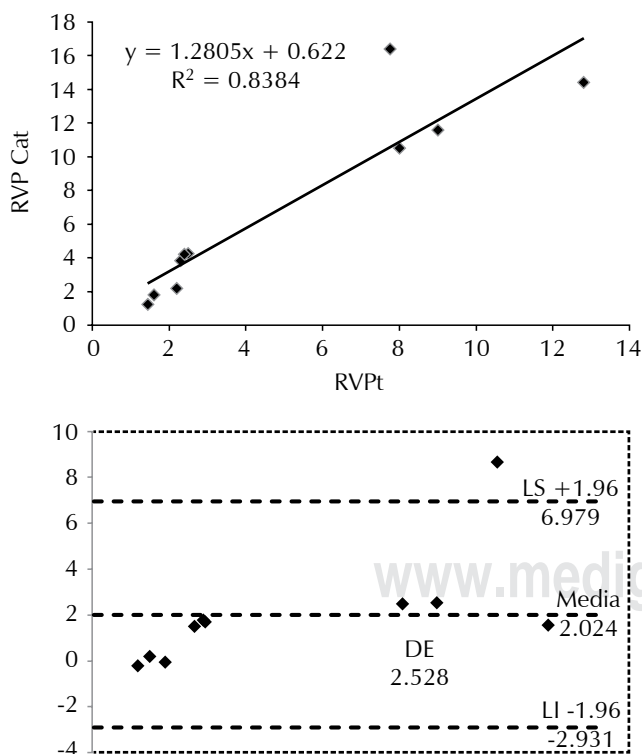


Figura 10: Análisis de regresión lineal y Bland-Altman entre la RVP obtenida por la ecuación de este trabajo y el cateterismo cardiaco.

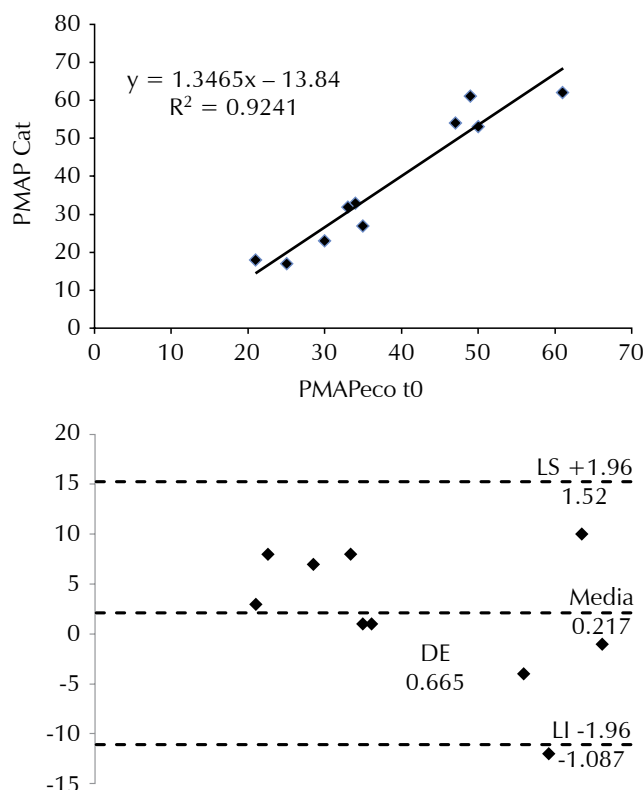


Figura 11: Análisis de regresión lineal y Bland-Altman entre la PMAP basal obtenida por ecocardiografía y por cateterismo.

RVP a partir de la relación entre la PSAP y ITVtsvd, validaron estas ecuaciones y las compararon con la ecuación de Abbas y su equipo de 2003 (modelo 1). Los modelos derivados fueron los siguientes: $RVP = 1.2 \times PSAP/ITVtsvd$ (modelo 2) y $RVP = PSAP/ITVtsvd + 3$ si está presente la muesca sistólica (modelo 3). La cohorte incluyó a 217 pacientes. Encontraron que el modelo 1, subestimó de manera sistemática la RVP estimada por cateterismo, en especial para aquellos con PVR alto. El modelo 3 se correlacionó mejor con PVR cat ($R^2 = 0.80$ vs; $R^2 = 0.73$ y $R^2 = 0.77$ para los modelos 1 y 2, respectivamente). Ese planteamiento generó molestias en Abbas y colegas, pues precisamente en el año 2013, publicaron un artículo¹² proponiendo una nueva ecuación: $RV_{Peco} = TVR^2/ITVtsvd \times 5 - 0.4$ para los pacientes con RVP más elevada que tenían un índice de $RTV/TVI \text{ tsvd} \geq 0.275$ siendo este el punto de corte para $RVP > 6$ UW (curva ROC). El trabajo incluyó cinco estudios de diferentes autores con una población total de 150 pacientes.

En la actualidad, sus dos trabajos tienen aceptación y reconocimiento mundial y ecuación $RV_{Peco} = RTV/ITVtsvd \times 10 + 0.16$, forma parte de la lista de variables



hemodinámicas validadas y obtenidas por ecocardiograma Doppler.

En una investigación más reciente (2017) Kaga y colegas¹⁶ propusieron una ecuación basada en la diferencia del gradiente de presión diastólico inicial y final obtenido por medio de la regurgitación pulmonar (RP) y el GC: $RVP = PDAPf - PDAPi / GCtsvi$. Analizaron la correlación lineal entre las ecuaciones de Abbas (2003 y 2013) y la ecuación de Scapellato con cateterismo, obteniendo coeficientes de correlación de 0.54, 0.66 y 0.54, respectivamente. La mejor correlación con cateterismo fue obtenida con la ecuación propuesta en su trabajo ($R^2 = 0.81$), seguida del índice de Lindqvist ($R^2 = 0.76$).³⁹

Con el primer grupo de 20 pacientes de este trabajo, validamos la efectividad de la ecuación de Abbas, solo se reportó una pequeña discrepancia en el valor de la constante de correlación: $RVP_{eco} = VRT/ITV_{tsvd} \times 10 + 0.36$. El análisis de Bland-Altman mostró límites de concordancia satisfactoria (media ± 0.36 , L: 0.12-0.61). En la segunda parte del trabajo se incluyeron 10 pacientes con indicación clínica y ecocardiográfica del TRVP, se analizaron principalmente las variaciones registradas de RVP y PMAP, esenciales para establecer la positividad del test. El cálculo de la PMAP se obtuvo por medio de la ecuación propuesta por Chemla y colaboradores:²³ $PMAP = 0.61 \times PSAP + 1.95$ y la RVP con la relación VRT/ITV_{tsvd} para evaluar su comportamiento con altos valores de RVP.

Dos hallazgos relevantes se evidenciaron con los cálculos: 1. Las mediciones de PMAP obtenidas por esta fórmula, fueron parecidos a los reportados por el cateterismo en todas las fases de medición del test (t0, t30 y tR) con alta correlación lineal (t0 $R^2 = 0.92$). 2. El coeficiente de correlación obtenido al comparar los valores de RVP_{eco} y RVP_{cat} ascendió de $R^2 = 0.70$ a $R^2 = 0.78$ cuando aplicamos el algoritmo de Abbas y en los casos con índice $VRT/ITV_{tsvd} \geq 0.275$ aumentó aún más al omitir del análisis los valores más elevados, $R^2 = 0.92$ (t0), $R^2 = 0.89$ (t30 y tR). Este punto de corte precisa cuando el análisis de regresión de la variable al ser comparada por los dos métodos (RVP_{cat} versus VRT/ITV_{tsvd}) deja de ser lineal para convertir su relación en una hipérbola con crecimiento exponencial, lo cual representa el fundamento del algoritmo de Abbas.

Se evidencia, al analizar estos hallazgos, que la variable ITV_{tsvd} del índice VRT/ITV_{tsvd} es responsable de abrir la mayor brecha entre los métodos invasivo y no invasivo, muy posiblemente por no tomar en cuenta la dilatación del ventrículo derecho presente en todos los casos de pacientes con elevación de la RVP.^{40,41} Es así, que este trabajo propone una ecuación con razonamiento más

fisiopatológico que estadístico, incorporándola en su cálculo. Además, incluimos un factor de corrección para el GC que llamaremos $fcGCITV_{tsvd}$ aplicable a todos los pacientes según el valor de ITV_{tsvd} . Abbas propuso en su algoritmo un valor de cinco o 10 según la relación VRT/ITV_{tsvd} sea ≥ 0.275 . Nosotros en cambio proponemos el $fcGCITV$ por la reiterada observación del descenso proporcional del GC y TVI según sea el grado de dilatación y disfunción sistólica del VD. $TVI_{tsdv} < 10$ cm dividimos la ITV entre 2, el valor corresponderá al GC corregido en la ecuación. Por encima de este valor, el cambio del GC se mantendría dentro del rango normal (4-6 L/min) lo que nos permite estandarizarlo a cinco. En el otro extremo, $ITV_{tsvd} < 6$ muy posiblemente el paciente se encuentra en falla ventricular severa o shock (índice cardiaco (IC)) < 2.2 L/minxmts.

La ecuación propuesta es la siguiente:

$$RVP_{eco} = (VRT \times DVD) / (ITV_{tsvd}) \times fcGCITV_{tsvd}$$

$$fcGCITV_{tsvd} = \text{si } ITV_{tsvd} < 10 \text{ el } fcGCtsvd \\ = ITV_{tsvd} / 2$$

$$ITV_{tsvd} \geq 10 \text{ el } FCGCITV_{tsvd} = 5$$

El análisis de regresión lineal entre los valores obtenidos de RVP con esta ecuación y la de Abbas con su algoritmo reportó una alta correlación, $R^2 = 0.97$; pero al comparar el algoritmo de Abbas y la RVP_t con el CCD, obtuvimos mayor correlación con nuestra propuesta ($R^2 = 0.84$).

CONCLUSIONES

En este trabajo concluimos: 1. El algoritmo de ecuaciones propuesto por Abbas para determinar la RVP según la relación VRT/ITV_{tsvd} sea ≥ 0.275 es útil y fácil de estimar. 2. La ecuación propuesta en este trabajo: $RVP_{eco} = (VRT/ITV_{tsvd} / DVD) \times fcGCITV_{tsvd}$ es práctica y aplicable en todos los casos de HP, lo que representa una alternativa a la ofrecida por Abbas y colaboradores. 3. Es posible realizar el TRVP por medio de la ecocardiografía Doppler basado en la alta correlación encontrada entre los valores de PMAP y RVP al compararlos con el método invasivo y ecocardiográfico.

Se recomienda realizar más estudios de TRVP comparando los métodos invasivo y no invasivo para agregar más peso estadístico a estas propuestas ecocardiográficas.

La limitación de esta investigación fue un bajo número de pacientes para realizar el TRVP; sin embargo, resulta importante acotar que se efectuaron un total de 50 me-

diciones. Cabe señalar que en todos los casos que no sea posible la medición de la VRT o TVI tsvd, tampoco lo será para realizar los cálculos de la RVP, lo cual no fue el caso de esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Rita Tamasaukas por la asesoría en los análisis estadísticos, revisión y corrección del manuscrito.

A la Ing. Daniela Gálato por su colaboración en elaboración de las tablas y gráficos de los análisis de regresión lineal y Bland-Altman.

Al equipo Médico, técnicos en ecocardiografía y enfermería que laboran en los Departamentos de Cardiología y Terapia Intensiva del Hospital Militar Universitario «Dr. Carlos Arvelo».

Financiamiento: Para realizar este trabajo científico se utilizaron los recursos del hospital.

Conflicto de intereses: Los autores exponen que no hay conflicto de intereses a declarar.

REFERENCIAS

- Gómez-López E. Hipertensión pulmonar asociada a enfermedad cardíaca izquierda: enfoque diagnóstico y terapéutico. *Rev Colomb Cardiol* 2017; 24(1): 55-64.
- Barrios E, Gómez M. Estrategia terapéutica en hipertensión arterial pulmonar. *Rev Colomb Cardiol* 2017; 24: 41-47.
- Ristow B, Shiller N. Stepping away from ritual right heart catheterization into the era noninvasively measured pulmonary artery pressured. *J Am Soc Echocardiogr* 2009; 22(7): 820-22.
- Farzaneh-Far R, McKeown B, Dang D, Roberts J, Schiller N, Foster E. Accuracy of Doppler-estimated pulmonary vascular resistance in patients before liver transplantation. *Am J Cardiol* 2008; 101: 259-62.
- Conde R, Cabrales J. El cateterismo derecho como herramienta en el diagnóstico de hipertensión pulmonar. *Rev Colomb Cardiol* 2017; 24(s1): 28-33.
- Addonizio L, Gersony W, Robbins R. Elevated pulmonary vascular resistance and cardiac transplantation. *Circulation* 1987; 76(Suppl V): V52-5.
- Kirklin J, Naftel D, McGiffin D, McVay R, Blackstone E. Analysis of morbid events and risk factors for death after cardiac transplantation. *J Am Coll Cardiol* 1988; 11: 917-24.
- Disesa V, Cohn L, Grossman W. Management of adults with congenital bidirectional cardiac shunt, cyanosis, and pulmonary vascular obstruction, successful repair operative in 3 patients. *Am J Cardiol* 1983; 51: 1495-7.
- Gallie N, Humbert M, Vachiery J, Gibbs S, Lang I, Torbicki A, et al. ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The Joint Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS): Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *European Heart Journal* 2016; 37: 67-11.
- Willard J, Richard A, Hillis L. Cardiac Catheterization. In: Khoner R. editor. *The Guide to Cardiology*. 3rd ed. Greenwich, CT: Le Jack Communications 195: 151.
- Abbas A, Fortuin D, Schiller N, Appleton C, Moreno C, Lester S. A simple method for noninvasive estimation of pulmonary vascular resistance. *J Am Coll Cardiol* 2003; 41(6): 1021-7.
- Abbas AE, Franey L, Marwick T, Maeder M, Kaye D, Vlahos A, et al. Noninvasive assessment of pulmonary vascular resistance by Doppler echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2014; 27(1): 108-9.
- Haddad F, Zamanian R, Beraud A, Schnitter I, Feinstein J, Peterson T et al. A novel non-invasive method of estimating pulmonary vascular resistance in patients with pulmonary arterial hypertension. *J Am Soc Echocardiogr* 2009; 22(5): 523-9.
- Gurudevan S, Malouf P, Kahn A, Auger W, Waltman T, Madani M, et al. Noninvasive assessment of pulmonary vascular resistance using Doppler tissue imaging of tricuspid annulus. *J Am Soc Echocardiogr* 2007; 20: 1167-7.
- Scapellato F, Temporelli P, Eleuteri E, Corrà U, Imparato A, Giannuzzi P. Accurate noninvasive estimation of pulmonary vascular resistance by Doppler echocardiography in patients with chronic failure heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2001; 37(7): 1813-9.
- Kaga S, Mikami T, Murayama M, Okada K, Masauzi N, Nakabachi M. A new method to estimate pulmonary vascular resistance using diastolic pulmonary artery-right ventricular pressure gradients derived from continuous-wave Doppler velocity measurements of pulmonary regurgitation. *Int J Cardiovasc Imaging* 2017; 33(1): 31-8.
- Opotowsky A, Clair M, Afilalo J, Landzberg M, Waxman A, Moko M, et al. A simple echocardiographic method to estimate pulmonary vascular resistance. *Am J Cardiol* 2013; 112: 873-82.
- Opotowsky A, Ojeda J, Rogers F, Prasanna V, Clair M, Moko L, et al. A simple echocardiographic prediction rule for hemodynamics in pulmonary hypertension. *Circ Cardiovasc Imag* 2012; 5(6): 765-75.
- Santos L, Contreras A, Moreno A, Medina L, Rodríguez N. It is useful to evaluate pulmonary vascular reactivity of echocardiography in the pulmonary hypertension? A challenge to solve. *Carta al editor. Arch Cardiol Mex* 2017; 87: 260-2.
- Rudski L, Lai W, Afilalo J, Hua L, Handschumacher M, Chndrasekaran K, et al. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of Right Heart in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2010; 23(7): 685-713.
- Yock P, Popp R. Noninvasive estimation of right ventricular systolic pressure by Doppler ultrasound in patients with tricuspid regurgitation. *Circulation* 1984; 70: 657-62.
- Velazco L. Rol de la ecocardiografía en el estudio de la hipertensión arterial pulmonar. *Avances Cardiol* 2009; 29(2): 154-64.
- Chemla D, Castelain V, Humbert M, Hébert J, Simonneau G, Lecarpentier, et al. New formula for predicting mean pulmonary artery pressure using systolic pulmonary artery pressure. *Chest* 2004; 126: 1313-7.
- Reuter D, Huang C, Edrich T. Cardiac output monitoring using indicator-dilution techniques: basics, limits and perspectives. *Anesth Analg* 2010; 110(3): 799-811.



25. David S. Celermajer Echocardiographic and right heart catheterization techniques in patients with pulmonary arterial hypertension Int J Cardiol 2008; 125(3): 294-303.
26. Carrillo A, Fiol M, Rodríguez A. El papel del catéter de Swan-Ganz en la actualidad. Med Intens 2010; 34(3): 203-14.
27. Rich J, Archer S, Rich S. Noninvasive cardiac output measurements in patients with pulmonary hypertension. Eur Resp J 2013; 42: 125-33.
28. Muñoz S, Tamayo N, Fernández A, Rodríguez A. Prueba de vasoreactividad vascular pulmonar con illoprost en hipertensión arterial pulmonar. Act Med Colomb 2016; 41(4): 229-34.
29. Robledo P, Rosas R, Campos C, Morales B. Test de reactividad vascular pulmonar. Neumol Cir Torax 2006; 65(S4): 43-50.
30. Sitbon O, Humbert M, Jaïs X, Loos V, Hamid A. Long-term response to calcium channel blockers in idiopathic pulmonary arterial hypertension. Circulation 2005; 111(23): 3105-11.
31. Cerda J y Cifuentes L. Uso de curvas ROC en investigación clínica. Aspectos teórico-prácticos. Rev Chil Infect 2012; 29 (2): 138-41.
32. Vlahos A, Feinstein J, Shiller N, Silverman N. Extension of doppler-derived echocardiographic measures of pulmonary vascular resistance to patients with moderate or severe pulmonary vascular disease. J Am Soc Echocardiogr 2008; 41(6): 1022-27.
33. Bidart C, Abbas A, Parish J, Chaliki H, Moreno C, Lester S, et al. The noninvasive evaluation of exercise-induced changes in pulmonary artery pressure and pulmonary vascular resistance. J Am Soc Echocardiograph 2007; 20(3): 269-75.
34. Pande A, Sarkar A, Hahmer I, Chandra N, Kumar S. Non-invasive estimation pulmonary vascular resistance of pulmonary hypertension in congenital heart disease with unobstructed pulmonary flow. Annal of pediatric cardiology 2014; 7(2):92- 97
35. Kouzu H, Nakatani S, Kyotani S, Kanzaki H, Nakanishi N, Kitakaze M. Noninvasive estimation of pulmonary vascular resistance by Doppler echocardiography in patients with pulmonary arterial hypertension. Am J Cardiol 2009; 103: 872-6.
36. Ortiz A, Ronquillo M, García F, López J, Ocaña C. Cálculo de las resistencias vasculares pulmonares mediante ecocardiografía de esfuerzo como método sencillo para la detección precoz de Hipertensión pulmonar. Rev Esp Cardiol 2010; 63(Supl. 3): 37.
37. Arkles J, Opatowsky A, Ojeda J, Rogers F, Liu T, Prassana V, et al. shape of the right ventricular Doppler envelope predicts hemodynamics and right heart function in pulmonary hypertension. Am J Cardiol 2013; 112(26): 873-82.
38. Yan C, Xu Z, Jin J, Lv J, Qiong L, Zhenhui Z et al. A feasible method for non-invasive measurement of pulmonary vascular resistance in pulmonary arterial hypertension: Combined use of transthoracic Doppler-echocardiography and cardiac magnetic resonance. Non-invasive estimation of pulmonary vascular resistance. Int J Cardiol Heart Vasc 2015;9:22-7.
39. Lindqvist P, Söderberg S, Gonzalez MC, Tossavainen E, Henein MY. Echocardiography based estimation of pulmonary vascular resistance in patients with pulmonary hypertension: a simultaneous Doppler echocardiography and cardiac catheterization study. Eur J Echocardiogr 2011; 12: 961-6.
40. Pérez D, Alonso A, Gómez Y, Novo L, Cruz J. Variables ecocardiográficas para la evaluación incruenta de la hemodinámica pulmonar. CorSalud 2012; 4(3): 201-15.
41. Hovnanian A, Menezes E, Hoette S, Jardim C, Jasinowodolinski D, Souza R. The Rol of imaging tecniques in the assessment of pulmonary circulation. J Bras Pneumol 2011; 37(3): 389-403.

Solicitud de sobretiros:

Tania Muñoz-Hernández
 Unidad de Ecocardiografía,
 Departamento de Cardiología,
 Hospital Militar Universitario «Dr. Carlos Arvelo»
 Av. José Ángel Lamas, Parroquia San Juan,
 Caracas, Venezuela CP. 1073,
 Correo electrónico:electroshock_2010@hotmail.com