



Predicción no invasiva de hipertensión pulmonar en pacientes de la UCI usando elevación pasiva de piernas y ecografía Doppler

Non-invasive prediction of pulmonary hypertension in ICU patients using passive leg elevation and Doppler ultrasound

Previsão não invasiva da hipertensão pulmonar em pacientes internados na UTI

utilizando a elevação passiva das pernas e a ultrassonografia Doppler

Andrés Gibrán Salcedo Malagón,* Alejandro Pizaña Dávila,* Agustín Eduardo Jaramillo Solís†

RESUMEN

Se realizó un trabajo de investigación prospectivo y comparativo utilizando la ecografía Doppler para observar los componentes de la ecuación de Bernoulli y sus cambios al realizar la maniobra de levantamiento pasivo de piernas, fueron incluidos 39 pacientes de ambos sexos, de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión del diseño de este estudio, se observó que los pacientes con velocidad de regurgitación tricuspídea mayor a 2.7 m/seg se correlaciona con pacientes no respondedores a volumen modificando los parámetros que componen la ecuación de Bernoulli, que orienta a probable desenlace de derrame pleural e insuficiencia cardíaca.

Palabras clave: diámetro de la vena cava, ultrasonido, hipertensión arterial pulmonar, regurgitación tricuspídea, ecuación de Bernoulli.

ABSTRACT

A prospective and comparative research work was carried out using doppler ultrasound to observe the components of the Bernoulli equation and its changes when performing the passive leg lift maneuver, 39 patients of both sexes were included, according to the inclusion and exclusion criteria of the design of this study, it was observed that patients with tricuspid regurgitation velocity greater than 2.7 m/sec correlates with non-responders to volume modifying the parameters that make up the Bernoulli equation, which points to the probable outcome of pleural effusion and heart failure.

Keywords: diameter of the vena cava, ultrasound, pulmonary arterial hypertension, tricuspid regurgitation, Bernoulli equation.

RESUMO

Foi realizado um estudo de investigação prospectivo e comparativo através do ultrassom Doppler para observar os componentes da equação de Bernoulli e suas alterações durante a realização da manobra de elevação passiva das pernas, foram incluídos 39 pacientes de ambos os sexos, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão do desenho deste estudo, observou-se que pacientes com velocidade de regurgitação tricúspide maior que 2.7 m/segundo está correlacionado com pacientes que não respondem ao volume, modificando os parâmetros que compõem a equação de Bernoulli, o que orienta para provável desfecho de derrame pleural e insuficiência cardíaca.

Palavras-chave: diâmetro da veia cava, ultrassonografia, hipertensão arterial pulmonar, regurgitação tricúspide, equação de Bernoulli.

Abreviaturas:

PSAP = presión sistólica de la arteria pulmonar

DMAX = diámetro máximo de la vena cava inferior medido por ultrasonido

DMIN = diámetro mínimo de la vena cava inferior medido por ultrasonido

HAP = hipertensión arterial pulmonar

VRT = velocidad de regurgitación tricuspídea

PAD = presión auricular derecha

INTRODUCCIÓN

Dada la limitación logística y de costos en torno al catesterismo cardíaco,¹ la ecocardiografía se convierte en la herramienta de cribado y diagnóstico más utilizada en la práctica clínica global.² La ecocardiografía transtorácica se utiliza para cuantificar la hipertensión pulmonar, utilizando la velocidad de regurgitación tricuspídea y la ecuación de Bernoulli modificada ($PSAP = 4V^2 + PAD$) para obtener la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP), que se estima mediante una evaluación cualitativa de la presión auricular derecha (PAD) (típicamente 5 o 10 mmHg).^{3,4}

Recientemente en la revista indexada *Nature Reviews* se publicó un artículo interesante de hipertensión arterial pulmonar en enero de 2024,⁵ donde se propone a la ecografía Doppler como un método seguro y preciso para el diagnóstico indirecto de hipertensión arterial pulmonar;⁶ sin embargo, hay poca evidencia bibliográfica que correlacione la velocidad de regurgitación tricuspídea, la respuesta a volumen y la medición de la presión sistólica de la arteria pulmonar.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio longitudinal, prospectivo y comparativo que analizó pacientes en terapia intensiva ingresados entre enero y junio de 2024.

Criterios de inclusión: pacientes mayores de 18 años, de cualquier sexo, con patologías quirúrgicas y no quirúrgicas, con y sin ventilación mecánica, ingresados en la unidad de terapia intensiva (UTI).⁷

Criterios de exclusión: ausencia de miembros inferiores, vértigo o disautonomía, prótesis inmediata de cadera, fractura inestable de pelvis, embarazo, superficie quemada profunda en el tórax. Pacientes que no desearan participar en el estudio.

Criterios de eliminación: pacientes con fatiga, incomodidad o molestia durante la maniobra de levantamiento pasivo de piernas. Sujetos con elevación de la

* Unidad de Terapia Intensiva, Hospital Ángeles Mocel, Ciudad de México, México.

† Profesor titular de la especialidad en Medicina Crítica, Hospital Ángeles Mocel, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Recibido: 25/09/2024. Aceptado: 10/10/2024.

Citar como: Salcedo MAG, Pizaña DA, Jaramillo SAE. Predicción no invasiva de hipertensión pulmonar en pacientes de la UCI usando elevación pasiva de piernas y ecografía Doppler. Med Crit. 2024;38(8):684-687. <https://dx.doi.org/10.35366/120017>

presión intraabdominal. Personas con patología neurológica que imposibilite realizar la maniobra de levantamiento pasivo de piernas. Casos con alguna o varias de las siguientes condiciones: abdomen abierto, patología ósea, necrosis digital, síndrome compartimental o ausencia de pulso en alguna extremidad inferior, mala ventana ecográfica.

Muestra: el tipo de muestreo utilizado en este estudio fue no probabilístico, intencional. El tamaño de muestra se determinó con base en el número de variables que componen el método de Bernoulli, asignando un mínimo de 10 pacientes por cada variable. En total se incluyeron 38 pacientes, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente en dos grupos.

Datos: se obtuvieron de la información proveniente de las ecografías Doppler, las cuales estuvieron supervisadas por médicos con experiencia en ultrasonografía en el paciente crítico.⁸ Se registraron los valores de: velocidad de regurgitación tricuspídea, presión de la aurícula derecha y colapsabilidad o distensibilidad de la vena cava inferior antes y después de la maniobra de levantamiento pasivo de piernas.⁹

Variable dependiente: valor de la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) por método de Bernoulli. Se obtuvo mediante la aplicación del método de Bernoulli a través de la ecografía Doppler antes y después de la maniobra de levantamiento pasivo de piernas.

Variable independiente: levantamiento pasivo de piernas. Esta maniobra se realizó en los pacientes del grupo expuesto para evaluar su efecto en los parámetros del método de Bernoulli.

Variable de control: adecuada ventana acústica. La calidad de la ventana acústica es esencial para obtener mediciones precisas y fiables mediante la ecografía Doppler. Esta variable se considerará como un factor de control para asegurar la calidad de las mediciones.

Otras variables: también se analizaron edad, sexo, velocidad de regurgitación tricuspídea (VRT), colapsabilidad/distensibilidad de la vena cava inferior, Vmax, presión sistólica aurícula derecha, diagnóstico de ingreso, diagnóstico de egreso.

RESULTADOS

Se ingresaron un total de 39 pacientes, de los cuales la media de edad fue de 58.2 ± 18.4 años. Con relación al sexo, 25 pacientes (64.1%) eran masculinos y 14 (35.9%) femeninos. Los valores previos a la maniobra de elevación pasiva de piernas fueron medidos por el mismo operador: la media de la VRT fue de 2.3 ± 0.52 m/s, la media de la colapsabilidad de la vena cava inferior fue de $40 \pm 11.2\%$, la media del diámetro máximo de la vena cava inferior (Dmax) fue de 18 ± 3.6 cm/s, la media de la PSAP fue de 34.6 ± 10 mmHg, la media de la PAPm fue de 18.79 ± 6.8 mmHg, y la media de

la presión de la aurícula derecha (PAPD) fue de 10.9 ± 4.3 mmHg.

Después de la maniobra de elevación pasiva de piernas, los valores medidos fueron: la media de la VRT fue de 2.7 ± 0.72 m/s, la media de la colapsabilidad de la vena cava inferior fue de $36.7\% \pm 11.7\%$, la media de la Dmax fue de 20.2 ± 6.7 cm/s, la media de la PAPm fue de 23.93 ± 6.3 mmHg, y la media de la PAD fue de 13.7 ± 5.2 mmHg. Los diagnósticos de ingreso y egreso se encuentran en la [Tabla 1](#).

Posteriormente, se realizó un análisis bivariado de la maniobra previa y posterior a la elevación de piernas, midiendo los valores.

La PSAP previa y posterior alcanzó una diferencia de medias de 9.9 con un valor de $p = 0.034$. De igual manera, la PSAPm presentó una diferencia de medias de 5.14 con un valor de $p = 0.010$. El resto de las variables no mostraron significancia estadística.

DISCUSIÓN

Los resultados arrojados por este trabajo se correlacionan con el estudio realizado por Menezes y colaboradores,¹⁰ en el cual concluyen que la velocidad de regurgitación tricuspídea se relaciona significativamente con la presión arterial pulmonar media y la respuesta a volumen cuando los valores de la VRT fueron de 2.5 m/s, en nuestro estudio la VRT fue de 2.7 m/s; sin embargo, no presentó adecuada respuesta a líquidos con una colapsabilidad media de 36% considerándose como no respondedores; lo cual nos hace suponer que un valor superior a 2.5 m/s probablemente sí sea respondedor a volumen, mientras que un valor superior a éste sea deletéreo para los pacientes. Por otro lado, en el trabajo original de Guazzi y su equipo,¹¹ se correla-

Tabla 1: Características generales de la población (n = 39).

Características	Media \pm DE
Género masculino, n (%)	25 (64.1%)
Género femenino, n (%)	14 (35.9%)
Edad (años)	58.2 ± 18.4
VRT pre (m/s)	2.3 ± 0.52
Colapsabilidad VCI pre (%)	40 ± 11.2
DMAX pre (cm)	18 ± 3.6
PSAP pre (mmHg)	34.6 ± 10
PAPm pre (mmHg)	18.79 ± 6.8
PAD pre (mmHg)	10.9 ± 4.3
VRT post (m/s)	2.7 ± 0.72
Colapsabilidad VCI post (%)	36.7 ± 11.7
DMAX post (cm)	20.2 ± 6.7
PSAP post (mmHg)	44.5 ± 12
PAPm post (mmHg)	23.93 ± 6.3
PAD post (mmHg)	13.7 ± 5.2

DMAX = diámetro máximo de la vena cava inferior medido por ultrasonido.
PAD = presión auricular derecha. PSAP = presión sistólica de la arteria pulmonar.
VRT = velocidad de regurgitación tricuspídea.

Tabla 2: Diagnósticos de ingreso y egreso de los pacientes agrupados por aparatos y sistemas.

Categoría	Diagnósticos	n (%)
Cardiovasculares	ICC/AHA, SICA, miocardiopatía, angina, bradicardia, choque cardiogénico	11 (28.2)
Respiratorios	NAC, SIRA, edema pulmonar, derrame pleural, neumopatía	9 (23.1)
Renales/urinarios	ERC, LRA, pielonefritis, IVU	5 (12.8)
Infecciosos/sistémicos	Sepsis, sepsis AB	3 (7.7)
Neurológicos	EVC isquémico, hemorrágico, secuela EVC	3 (7.7)
Quirúrgicos/PO	PO cateterismo, PO marcapasos, PO tumor, cambio valvular	5 (12.8)
Neoplásicos	Tumor cara, tumor cuello, tumor cardíaco	3 (7.7)

ERC = enfermedad renal crónica. EVC = enfermedad vascular cerebral. ICC/AHA = insuficiencia cardíaca congestiva / *American Heart Association*. IVU = infección de vías urinarias. LRA = lesión renal aguda. NAC = neumonía adquirida en la comunidad. PO = postoperatorio. SICA = síndrome isquémico coronario agudo. SIRA = síndrome de insuficiencia respiratoria aguda.

Tabla 3: Análisis bivariado pre y postmaniobra.

Variable	Pre (media ± DE)	Post (media ± DE)	Diferencia de medias	p
VRT (m/s)	2.3 ± 0.52	2.7 ± 0.72	0.4	0.880
Colapsabilidad VCI (%)	40 ± 11.2	36.7 ± 11.7	-3.3	0.414
DMAX (cm/s)	18 ± 3.6	20.2 ± 6.7	2.2	0.225
PSAP (mmHg)	34.6 ± 10	44.5 ± 12	9.9	0.034
PAPm (mmHg)	18.79 ± 6.8	23.93 ± 6.3	5.1	0.010
PAD (mmHg)	10.9 ± 4.3	13.7 ± 5.2	2.8	0.051

DMAX = diámetro máximo de la vena cava inferior medido por ultrasonido. PAD = presión auricular derecha. PSAP = presión sistólica de la arteria pulmonar. VRT = velocidad de regurgitación tricuspídea.

cionaron la función ventricular derecha y la presión arterial pulmonar, los pacientes con VRT > 2.8 m/s tuvieron una mayor probabilidad de desarrollar insuficiencia cardíaca, en nuestro trabajo los pacientes con VRT > 2.7 m/s fueron diagnosticados con insuficiencia cardíaca al egreso de la UTI (*Tabla 2*), lo que nos hace pensar que valores incluso más bajos como los reportados en la publicación de Chang y su grupo,¹² donde estudiaron a la VRT con la sobrecarga de volumen y función ventricular izquierda en los pacientes con VRT > 2.2 m/s, tuvieron una mayor probabilidad de desarrollar insuficiencia cardíaca. Esto hace pensar que probablemente la VRT en un futuro podría considerarse como un valor de predicción no sólo como de respuesta a volumen,¹³ sino como un parámetro hemodinámico en pacientes con riesgo de desarrollar hipertensión arterial pulmonar,¹⁴ ya que éste es un valor directo al método de Bernoulli y otras complicaciones derivadas de la función ventricular cardíaca^{15,16} (*Tabla 3*).

CONCLUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, concluimos que la velocidad de regurgitación tricuspídea pudiera considerarse como un parámetro de respuesta a volumen, siendo deletéreo cuando estos valores son superiores a 2.7 m/s; con resultados negativos como mala respuesta a volumen, derrame pleural e insuficiencia cardíaca.

Derivado de una muestra pequeña de pacientes incluidos en este estudio, los resultados deben ser

interpretados a cautela, por lo que se necesitan más estudios para confirmar si el método de Bernoulli es eficaz para predecir el riesgo de hipertensión arterial pulmonar y respuesta a volumen en pacientes críticamente enfermos.¹⁷

A pesar de las dificultades logísticas del presente trabajo, podría considerarse como un estudio piloto y probablemente estudio base para nuevas investigaciones a futuras generaciones de médicos involucrados en la atención del paciente críticamente enfermo.

REFERENCIAS

1. Hoeper MM, Lee SH, Voswinckel R, Palazzini M, Jais X, Marinelli A, et al. Complications of right heart catheterization procedures in patients with pulmonary hypertension in experienced centers. *J Am Coll Cardiol*. 2006;48(12):2546-2552.
2. Olivencia Peña L, Fernández Carmona A, Rodríguez C. Diagnóstico diferencial y manejo de shock. España: Elsevier; 2022.
3. Fox et al. Tricuspid regurgitation velocity and response to exercise in patients with pulmonary hypertension. *J Card Fail*. 2017;23(10):731-738.
4. Rodríguez DA, Sancho-Muñoz A, Rodó-Pin A, Herranz A, Gea J, Bruguera J, et al. Right ventricular response during exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Heart Lung Circ*. 2017;26(6):631-634.
5. Mocumbi A, Humbert M, Saxena A, Jing ZC, Sliwa K, Thienemann F, et al. Pulmonary hypertension. *Nat Rev Dis Primers*. 2024;10(1):1.
6. Janda S, Shahidi N, Gin K, Swiston J. Diagnostic accuracy of echocardiography for pulmonary hypertension: a systematic review and meta-analysis. *Heart*. 2011;97(8):612-622.
7. Liang Y, Nozari A, Kumar AB. Reanimación cardiopulmonar y soporte vital cardíaco avanzado. España: Elsevier; 2021.
8. Tamagnone F, Previgliano I, Merlo PM, Benay CG. POCUS: Manual práctico ultrasonografía crítica. Argentina: Editorial Corpus Libros Médicos y Científicos; 2018.

9. Carrillo Esper R, Tapia Velasco R, Galván Talamantes Y, Garrido Aguirre E. Evaluación de la precarga y respuesta a volumen mediante ultrasonografía de la vena cava. *Rev Asoc Mex Med Crit Ter Intensiva*. 2015;29(2):105-112.
10. Menezes TCF, Lee MH, Fonseca Balladares DC, Nolan K, Sharma S, Kumar R, et al. Skeletal muscle pathology in pulmonary arterial hypertension and its contribution to exercise intolerance. *J Am Heart Assoc*. 2025;14(4):e036952.
11. Guazzi M, Ghio S, Adir Y. Pulmonary hypertension in HFpEF and HFrEF: JACC review topic of the week. *J Am Coll Cardiol*. 2020;76(9):1102-1111.
12. Chang WT, Weng SF, Hsu CH, Shih JY, Wang JJ, Wu CY, et al. Prognostic factors in patients with pulmonary hypertension-a nationwide cohort study. *J Am Heart Assoc*. 2016;5(9):e003579.
13. Gupta G, Pinsky MR. ¿Cuáles son las mejores herramientas para optimizar la circulación? España: Elsevier; 2021.
14. Milan A, Magnino C, Veglio F. Echocardiographic indexes for the non-invasive evaluation of pulmonary hemodynamics. *J Am Soc Echocardiogr*. 2010;23(3):225-239; quiz 332-334.
15. De la Espriella R, Cobo M, Santas E. Evaluación de las presiones de llenado y la sobrecarga de volumen en la insuficiencia cardiaca: una visión actualizada. España: Sociedad Española de Cardiología, Elsevier; 2022.
16. Sabatier C, Monge I, Maynar J, Ochagavia A. Valoración de la precarga y la respuesta cardiovascular al aporte de volumen. *Med Intensiva*. 2012; 36 (1): 45-55.
17. Escribano Subias P, Barberá Mir JA, Suberviola V. Evaluación diagnóstica y pronóstica actual de la hipertensión pulmonar. *Rev Esp Cardiol*. 2010;63(5):583-596.

Aspectos éticos: se obtuvo consentimiento informado de los pacientes participantes.

Conflicto de intereses: este trabajo no contiene conflicto de intereses.

Correspondencia:

Andrés Gibrán Salcedo Malagón

E-mail: asalcedomalagon@gmail.com