

Monitorización hemodinámica avanzada asociada a ecografía simultánea a variables hemogasométricas en el paciente crítico

Advanced hemodynamic monitoring associated with simultaneous ultrasound to hemogasometric variables in critically patient

Alejandro Castellanos García^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-0400-8195>

Anselmo Abdo Cuza¹ <https://orcid.org/0000-0001-5573-7382>

Yalina Quevedo Benítez¹ <https://orcid.org/0000-0003-0851-2070>

Geydy Leal Alpizar¹ <https://orcid.org/0000-0001-9769-1132>

Roberto Castellanos Gutiérrez¹ <https://orcid.org/0000-0001-6778-6042>

Francisco Gómez Peire¹ <https://orcid.org/0000-0002-0821-0649>

Guillermo Pérez Aspuro¹ <https://orcid.org/0000-0001-9961-8828>

Juan Antonio Gutiérrez Martínez¹ <https://orcid.org/0000-0002-6929-9800>

Namibia Espinosa Nodarse¹ <https://orcid.org/0000-0003-4455-7639>

Juan Carlos López González¹ <https://orcid.org/0000-0001-6584-6574>

Guillermo Díaz Piloto¹ <https://orcid.org/0000-0002-6929-9800>

Yanet Cordero Vasallo¹ <https://orcid.org/0000-0001-6040-120X>

Leanet María Quiles Gómez¹ <https://orcid.org/0000-0001-6271-5376>

Emi Hernández Fernández¹ <https://orcid.org/0000-0002-4739-9165>

¹Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas (CIMEQ). La Habana, Cuba.

*Autor para la correspondencia: alecg@infomed.sld.cu

RESUMEN

Introducción: El monitoreo del gasto cardíaco por análisis del contorno de la onda de pulso es uno de los métodos avanzados de estudio hemodinámico, aunque con disponibilidad limitada. Las alteraciones en la oxigenación, en el metabolismo del dióxido de carbono y en la ecografía, determinadas de forma simultánea, pudieran estimar alteraciones hemodinámicas similares a las del contorno de la onda de pulso.

Objetivo: Identificar la correlación entre variables obtenidas a través del método del contorno de la onda de pulso y variables obtenidas por ecografía, oxigenación tisular y dióxido de carbono.

Métodos: Se realizó un estudio observacional, analítico, transversal, en la Unidad de Cuidados Intensivos del Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas, entre marzo de 2016 y enero de 2017. Se analizaron 10 pacientes críticos con diversas enfermedades diagnósticas. Se realizaron 21 estimaciones hemodinámicas en diferentes momentos. Previamente, se les aplicó a los pacientes el protocolo ecográfico, y se determinaron variables de oxigenación sistémica y la diferencia veno-arterial de CO₂.

Resultados: Se observó correlación entre el índice cardiaco y la DvaCO₂ ($\rho = -0,498$ $p = 0,022$), la contractilidad disminuida, y ausencia de colapso inspiratorio de la vena cava inferior ($X^2 = 11,422$ $p = 0,001$; $X^2 = 6,43$ $p = 0,011$; respectivamente). Se detectó una correlación entre ELWI y la cuantía de líneas B, la relación PO₂/FiO₂ ($\rho = 0,491$ $p = 0,024$; $\rho = 0,811$ $p = 0,000$; $\rho = -0,554$ $p = 0,009$; respectivamente) y la presencia de líneas A ($X^2 = 4,42$ $p = 0,035$).

Conclusiones: Existe asociación significativa entre variables de oxigenación, de dióxido de carbono, y ecografía, con el índice cardiaco y el agua extravascular pulmonar.

Palabras clave: monitorización hemodinámica avanzada; ecografía; oxigenación sistémica; diferencia veno-arterial de dióxido de carbono.

ABSTRACT

Introduction: Monitoring cardiac output by pulse wave contour analysis is one of the advanced methods of the hemodynamic study, with limited availability, though. Alterations in oxygenation, carbon dioxide metabolism and ultrasound, which are simultaneously determined, could estimate hemodynamic changes similar to those of the pulse wave contour.

Objective: To identify the correlation between variables obtained through the pulse wave contour method and variables obtained by ultrasound, tissue oxygenation and carbon dioxide.

Methods: An observational, analytical, cross-sectional study was conducted in the Intensive Care Unit at the Medical-Surgical Research Center, from March 2016 to January 2017. Ten critically ill patients with various diagnostic diseases were studied. Twenty-one hemodynamic estimates were made at different times. Previously, the ultrasound protocol

was applied to these patients, and variables of systemic oxygenation and venous-to-arterial carbon dioxide tension difference were determined.

Results: Correlation was observed between cardiac index and DvaCO₂ ($\rho = -0.498$ $p = 0.022$), decreased contractility, and absence of inspiratory collapse of the inferior vena cava ($X^2 = 11.422$ $p = 0.001$; $X^2 = 6.43$ $p = 0.011$; respectively). A correlation was detected between the extravascular lung water index (ELWI and the number of B lines, PO₂ / FiO₂ ratio ($\rho = 0.491$ $p = 0.024$; $\rho = 0.811$ $p = 0.000$; $\rho = -0.554$ $p = 0.009$; respectively) and the presence of A lines ($X^2 = 4, 42$ $p = 0.035$).

Conclusions: A significant association between oxygenation variables, carbon dioxide, and ultrasound was observed, with the cardiac index and the extravascular pulmonary water.

Keywords: advanced hemodynamic monitoring; ultrasound; systemic oxygenation; venous-arterial difference of carbon dioxide.

Recibido: 09/08/2019

Aprobado: 12/12/2019

Introducción

La atención al paciente crítico requiere conocer e interpretar su estado hemodinámico, acción que, en la mayoría de los casos, resulta de gran complejidad para el profesional. Realizar un monitoreo hemodinámico preciso permite guiar una adecuada terapéutica de resucitación.

La monitorización hemodinámica avanzada, realizada mediante termodilución (un catéter colocado en la arteria pulmonar), popularizada en los años setenta, continúa siendo el patrón de oro para estimar el gasto cardiaco y otras variables de importancia. En años recientes se han introducido otros métodos de monitorización, entre ellos el monitoreo del gasto cardiaco continuo por análisis de la curva del contorno del pulso (PiCCO: *Pulse Contour Cardiac Output*), que utiliza el principio de termodilución transpulmonar, para medir variables de función contráctil cardiaca, precarga, postcarga y de extravasación de líquido en el intersticio pulmonar. Los resultados han sido comparados con los obtenidos por catéter de la arteria pulmonar, y han mostrado una adecuada correlación. A pesar de su gran utilidad,

en no pocas ocasiones resulta difícil su uso, debido a situaciones médicas presentes que contraindican su empleo, así como su disponibilidad por el alto costo.^(1,2)

Existen otras herramientas en la práctica médica que permiten detectar alteraciones hemodinámicas. Entre ellas se encuentran las alteraciones en la oxigenación tisular, así como el metabolismo y aclaramiento del dióxido de carbono (CO₂) sanguíneo, representados, entre otras variables, por la saturación venosa central de oxígeno (SvcO₂) y la diferencia veno-arterial de CO₂ (DvaCO₂).^(3,4,5) Sus alteraciones pueden estimar una resucitación y estado circulatorio insuficientes.

El uso de las técnicas de imagen, en especial la ecografía, ha ido ganando terreno en este campo. La aplicación del protocolo *Rapid Ultrasound in Shock* (RUSH) en la emergencia permite identificar alteraciones en la contractilidad y función cardíaca global, estados de hipovolemia de diversas causas, así como otras enfermedades que deterioran, de forma aguda, el estado hemodinámico, y que requieren de un diagnóstico y tratamiento temprano para lograr la sobrevida del enfermo.⁽⁶⁾

Teniendo en cuenta la disponibilidad e inocuidad de las herramientas diagnósticas no invasivas sobre las técnicas de monitoreo hemodinámico avanzado anteriormente comentadas, los autores se formulan la siguiente interrogante: ¿Es posible estimar alteraciones hemodinámicas con el uso del RUSH y variables hemogasométricas, con resultados similares al método PiCCO?

La presente investigación tuvo como objetivo identificar la correlación entre variables obtenidas a través del método del contorno de la onda de pulso y variables obtenidas por ecografía, oxigenación tisular y la diferencia veno-arterial de CO₂.

Métodos

Se realizó un estudio observacional, analítico, transversal, en la Unidad de Cuidados Intensivos del Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas (CIMEQ), entre marzo de 2016 y enero de 2017, con pacientes ingresados que cumplieron con los siguientes criterios de inclusión: necesidad de monitorización hemodinámica avanzada mediante sistema PiCCO, presencia de ventana acústica adecuada para la evaluación ultrasonográfica en los sitios a explorar, y presencia de acceso venoso central a vena cava superior y arterial para la extracción de muestras simultáneas. Se excluyeron aquellos pacientes que no cumplieran con, al menos, uno de los criterios de inclusión citados anteriormente.

Se estudió una serie de casos de 10 pacientes ingresados por diversas enfermedades diagnósticas, a los cuales se les realizó en sumatoria 21 estimaciones de variables hemodinámicas en diferentes momentos de su ingreso, según su estado clínico. Previo a cada estimación, se les aplicó el protocolo RUSH, así como análisis de muestras de sangre arterial y venosa central para el estudio de la oxigenación sistémica y metabolismo del CO₂.

Variables

Se estudiaron variables clínicas y epidemiológicas tales como edad, sexo, días de ingreso, APACHE II (*Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II*), SOFA (*Sequential Organ Failure Assessment*) y estado al egreso.

Monitoreo PiCCO

Se utilizó monitor PiCCO Plus, con inserción de catéter arterial femoral PV2015L20N, y utilización de catéter venoso central con colocación de su extremo distal en la entrada de la aurícula derecha, comprobado por radiografía de tórax anteroposterior. Se realizó la termodilución transpulmonar con 15 ml de NaCl 0,9 % a menos de 8 °C de temperatura, mediante las estimaciones promedio de cada variable, obtenidas de tres mediciones semejantes realizadas en cada evaluación.

Las variables brindadas por el monitor PiCCO utilizadas para el estudio fueron:

- Índice cardiaco (IC), VR: 2,5-4 l/min/m²
- Índice de volumen global al final de diástole (GEDI, por sus siglas en inglés), VR: 680-800 ml/m²
- Índice de resistencia vascular sistémica (IRVS), VR: 1700-2400 dyn/s/cm/m²
- Índice de agua extravascular pulmonar (ELWI) (*Extravascular lung wáter index*), VR: 3-7 ml/kg

Protocolo RUSH

Cada paciente fue evaluado con ecógrafo marca Sonosite Titan con transductor sectorial de 1-5 MHz, por tres especialistas en Medicina Intensiva y Emergencia, uno de ellos cardiólogo de base, con experiencia en ecocardiografía y ecografía.

El estudio comenzó con la evaluación cardiaca. Se evaluó el saco pericárdico, la contractilidad cualitativa del ventrículo izquierdo, el tamaño y relación entre ventrículo derecho e izquierdo (VD/VI). Luego, se observó la vena cava inferior (VCI), el porcentaje

de colapso inspiratorio, las cavidades pleurales y abdominal, además de identificar la presencia de líneas A, líneas B, y cuantificar estas últimas según su aparición en cuatro regiones torácicas (anterosuperior y anteroinferior de ambos hemitórax). Por último, se evaluó la aorta torácica y abdominal, así como las venas poplíteas y femorales. Para este estudio, se seleccionaron las siguientes variables, que fueron medidas según la guía descrita por *Perera* y otros:⁽⁶⁾ contractilidad (conservada o disminuida); colapsabilidad de la VCI (sin colapso, menor de 50 %, mayor de 50 %) (fórmula: [(diámetro máximo – diámetro mínimo) / diámetro máximo] * 100]; presencia de líneas A (Sí / No); presencia de líneas B (Sí / No). Además, se cuantificó la sumatoria de líneas B de las cuatro regiones torácicas exploradas.

Estudio de la oxigenación y del dióxido de carbono sanguíneo

Se estudió la saturación venosa central de O₂ (SvcO₂), VR: ≥ 70 %; la diferencia entre el contenido arterio-venoso de O₂ (DavO₂), VR: 4-5,5 ml/dl; el índice de extracción de O₂ (ExtO₂), VR: 22-30 %; la diferencia veno-arterial de CO₂ (DvaCO₂), VR: <6 mmHg. Además, se recogió la relación presión arterial de O₂/ fracción inspirada de O₂ (PO₂/FiO₂), VR: >300 mmHg; y el lactato arterial, VR: < 2 mmol/L.

Se confeccionó con los resultados obtenidos una base de datos en SPSS versión 20 para Windows. Se determinó la media, frecuencias absolutas y relativas; se comparó las medias mediante la prueba de hipótesis T-Student. Se determinó la correlación de Pearson para variables cuantitativas y Chi-cuadrado para variables cualitativas. Se calculó el método del valor predictivo mediante tabla de 2x2 para identificar la probabilidad de detectar alteraciones encontradas por el PiCCO en las variables anteriormente mencionadas. Todas las técnicas estadísticas antes expuestas fueron consideradas significativas cuando presentaron un nivel de significación de ≤5 %.

Consideraciones éticas

La investigación fue evaluada y aprobada por el Comité de Ética de las Investigaciones (CEI) y el Consejo Científico del CIMEQ. Los estudios que se realizaron a los pacientes constituyeron métodos diagnósticos de uso cotidiano en la práctica habitual de esta Unidad, por lo que no se requirió de consentimiento informado. Los datos publicados en la presente investigación no permitieron la identificación de ninguno de los pacientes estudiados.

Resultados

La serie estuvo constituida predominantemente por hombres (70 %), con edad media de 55,1 años (DS \pm 12,3) y 13,3 días (DS \pm 10,24) de evolución en la unidad de cuidados intensivos (UCI). El diagnóstico más frecuente al ingreso fue trasplante hepático (50 %). Se observó un APACHE II promedio de 19,4 (DS \pm 4,48) y SOFA de 6,8 (DS \pm 2,74), con un riesgo de muerte según el APACHE II de 34,8 % (DS \pm 14,21) (Tabla 1).

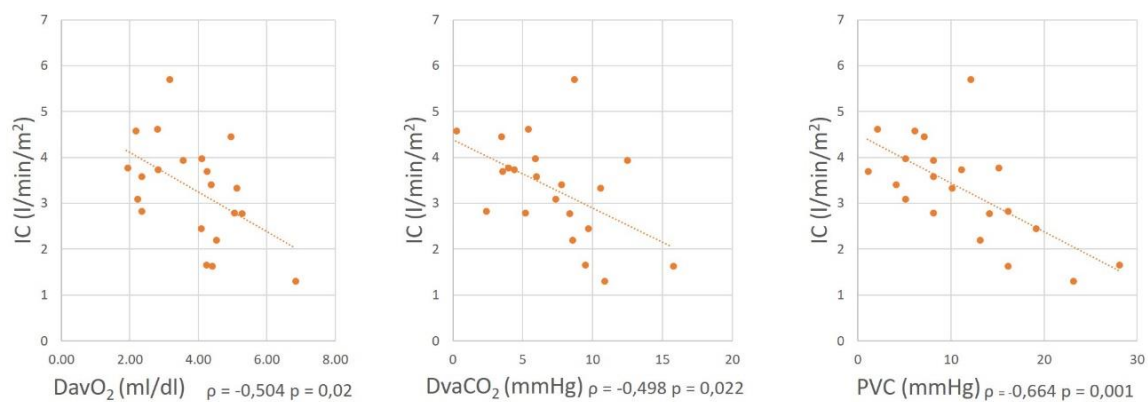
Tabla 1 - Características demográficas, estadía, estado al egreso, escalas pronósticas y diagnóstico al ingreso

Edad (años)	Sexo	Estadía UCI (días)	Estado al egreso	SOFA	APACHE II	Riesgo de muerte (%)	Diagnóstico
52	Masculino	22	Fallecido	11	26	56,9	Trasplante hepático
73	Masculino	8	Vivo	7	24	49,9	Cirugía cardiovascular
53	Femenino	6	Vivo	10	17	26,2	Trasplante hepático
50	Masculino	6	Vivo	8	22	42,4	Trasplante hepático
66	Masculino	26	Fallecido	6	14	18,6	SDRA
66	Femenino	9	Fallecido	6	17	26,2	Cirugía cardiovascular
32	Masculino	10	Vivo	3	23	46,0	Status asmático
47	Masculino	6	Fallecido	9	15	21,0	Trasplante hepático
47	Masculino	8	Fallecido	5	22	42,2	SDRA
65	Femenino	4	Vivo	3	14	18,6	Trasplante hepático

APACHE II: *Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II*; SOFA: *Sequential Organ Failure Assessment*; SDRA: Síndrome de distrés respiratorio agudo

Se observó una relación inversa entre el IC y la $DavO_2$ ($\rho = -0,504$ $p = 0,02$), la $DvaCO_2$ ($\rho = -0,498$ $p = 0,022$) y la presión venosa central (PVC) ($\rho = -0,664$ $p = 0,001$) (Fig. 1). Se identificaron valores promedio de $DavO_2$, $DvaCO_2$ y PVC mayores en pacientes con índice cardiaco (IC) disminuido (4,79 DS \pm 1,14 vs 3,5 DS \pm 1,2 $p = 0,048$; 10,8 DS \pm 2,86 vs 5,9 DS \pm 3,13 $p = 0,006$; 19,8 DS \pm 5,9 vs 8,25 DS \pm 4,48 $p = 0,000$; respectivamente) (Tabla 2). Al evaluar el protocolo RUSH se encontró, entre los pacientes con IC disminuido, mayor frecuencia de alteraciones en la contractilidad y de ausencia de colapso inspiratorio

de la vena cava inferior (80 % en ambos casos), con asociación estadísticamente significativa entre dichas variables ($X^2= 11,422$ $p= 0,001$; $X^2= 6,43$ $p= 0,011$).



IC: Índice cardiaco; DavO₂: Diferencia arterio - venosa O₂; DvaCO₂: Diferencia veno - arterial CO₂; PVC: Presión venosa central

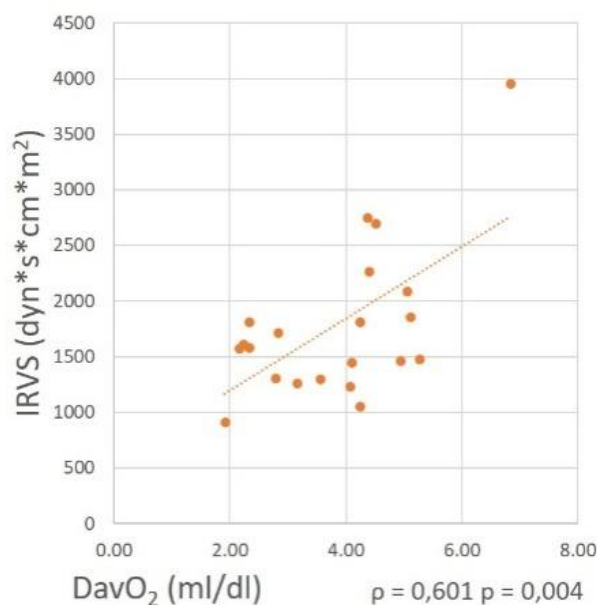
Fig. 1 - Correlación entre índice cardiaco y diferencias arterio-venosa de O₂, CO₂ y presión venosa central.

Tabla 2 - Relación entre variables dicotómicas por monitoreo PiCCO y valores medios de variables hemogasométricas y ecográficas

Variables	IC (l/min/m ²)			GEDI (ml/m ²)			IRVS (dyn*s*cm*m ²)			ELWI (ml/kg)		
	<2,5	≥2,5	Sig.	Disminuido	Conservado	Sig.	Disminuido	Conservado	Sig.	<10	>10	Sig.
Lactato	3,9	2,1	P= 0,102	2,6	2,4	P= 0,854	2,4	2,8	P= 0,628	2,5	2,7	P= 0,839
SvcO ₂	61,8	69,2	P= 0,205	70	59,5	P= 0,071	66,7	68,7	P= 0,708	68,8	64,8	P= 0,454
DavO ₂	4,8	3,5	P= 0,048	3,7	4,3	P= 0,385	3,3	4,6	P= 0,026	3,9	3,5	P= 0,517
ExtO ₂	0,36	0,28	P= 0,163	0,28	0,35	P= 0,214	0,31	0,29	P= 0,728	0,3	0,3	P= 0,977
DvaCO ₂	10,8	5,9	P= 0,006	7,5	5,6	P= 0,325	6,5	8	P= 0,371	7,3	6,7	P= 0,735
PO ₂ /FiO ₂	216	274,8	P= 0,315	271,9	225,2	P= 0,427	244,8	286,8	P= 0,415	319,2	143,9	P= 0,000
PVC	19,8	8,3	P= 0,000	12,3	7	P= 0,140	10,8	11,4	P= 0,851	9,2	14,6	P= 0,093
Líneas B	2,8	1,6	P= 0,267	2	1,4	P= 0,595	2,2	1,3	P= 0,317	0,7	4,1	P= 0,000

IC: Índice cardiaco; GEDI: Índice de volumen global al final de diástole; IRVS: Índice de resistencia vascular sistémica; ELWI: Índice de agua extravascular pulmonar; SvcO₂: Saturación venosa central de O₂; DavO₂: Diferencia arterio - venosa O₂; ExtO₂: Índice de extracción de O₂; DvaCO₂: Diferencia veno - arterial CO₂; PO₂/FiO₂: relación presión arterial de O₂/ fracción inspirada de O₂; PVC: Presión venosa central

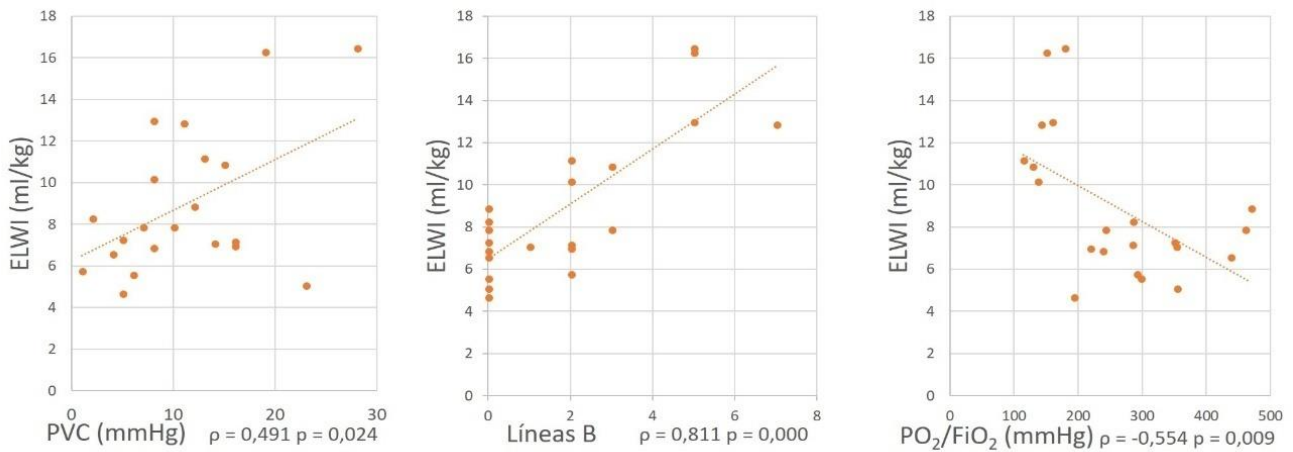
La mayoría de los pacientes con IRVS disminuidas presentaron valores bajos de $DavO_2$ (61 %). Se detectó una relación directa entre estas variables ($\rho= 0,601$ $p= 0,004$) (Fig. 2). Se observó dentro de este grupo de pacientes una $DavO_2$ media disminuida con respecto a pacientes con IRVS normales o altos (3,33 DS \pm 1,1 vs 4,58 DS \pm 1,24 $p= 0,026$) (Tabla 2). No se observó asociación entre IRVS y otras variables.



IRVS: Índice de resistencia vascular sistémica; $DavO_2$: Diferencia arterio - venosa O_2

Fig. 2 - Correlación entre índice de resistencia vascular sistémica y diferencia arterio-venosa de O_2 .

Al estudiar la relación entre el índice de agua extravascular pulmonar (ELWI, por sus siglas en inglés) y el resto de los parámetros, se observó que incrementos de este se asociaron significativamente con incrementos en la PVC, en la cuantía de líneas B, y con la disminución de la relación PO_2/FiO_2 ($\rho= 0,491$ $p= 0,024$; $\rho= 0,811$ $p= 0,000$; $\rho= -0,554$ $p= 0,009$; respectivamente) (Fig. 3). Al relacionar estas y otras variables de forma cualitativa, no se pudo observar asociación cuando se tomó como valor de referencia normal 7 ml/kg de ELWI. Sin embargo, cuando se aumentó el valor de corte a 10 ml/kg, se observó relación estadísticamente significativa con la presencia de alteraciones en la PO_2/FiO_2 , la presencia de líneas B, y la presencia de líneas A ($X^2= 4,2$ $p= 0,04$; $X^2= 7,88$ $p= 0,005$; $X^2= 4,42$ $p= 0,035$; respectivamente). Las medias de PO_2/FiO_2 y de cuantía de líneas B se detectaron alteradas en los pacientes que presentaron $ELWI \geq 10$ ml/kg con respecto a aquellos que no (143,9 DS \pm 21 vs 319,2 DS \pm 88,5 $p= 0,000$; 4,14 DS \pm 1,86 vs 0,71 DS \pm 1,07 $p= 0,000$) (Tabla 2).



ELWI: Índice de agua extravascular pulmonar; PO_2/FiO_2 : relación presión arterial de O_2 / fracción inspirada de O_2 ; PVC: Presión venosa central

Fig. 3 - Correlación entre Índice de agua extravascular pulmonar y presión venosa central, líneas B y relación PO_2/FiO_2 .

No se observó relación entre las estimaciones del índice de volumen global al final de diástole y los elementos estudiados, específicamente las variaciones de la VCI y los valores de presión venosa central.

Por último, se determinó la utilidad diagnóstica de algunas variables del protocolo RUSH y de oxigenación y metabolismo de CO_2 para estimar alteraciones en el IC, el IRVS y el ELWI. Se encontraron valores de sensibilidad (S) y especificidad (E) elevados para detectar IC menor que $2,5 \text{ l/min/m}^2$ al comprobar contractilidad disminuida (S: 80 %; E: 94 %; Valor predictivo positivo (VPP): 80 %; Valor predictivo negativo (VPN): 94 %; $p= 0,001$), VCI sin colapso (S: 80 %; E: 81 %; VPP: 57 %; VPN: 93 %; $p= 0,011$), Dva CO_2 aumentada (S: 100 %; E: 63 %; VPP: 45 %; VPN: 100 %; $p= 0,015$), y PVC elevadas (S: 100 %; E: 81 %; VPP: 63 %; VPN: 100 %; $p= 0,001$) (Tabla 3). Agrupando algunas de estas variables en pares, se pudo aumentar la probabilidad de estimar alteraciones en el IC. Se obtuvo una S en 80 % y E en 100 %, con un VPP de 100 % y un VPN de 94 %, con nivel de significación de $p = 0,000$, para la asociación entre contractilidad y Dva CO_2 alterada, contractilidad y PVC alteradas, en ambos casos.

Tabla 3 - Fiabilidad diagnóstica de las variables citadas en relación con índice cardiaco

Variables	Contractilidad disminuida	No colapso VCI	DvaCO ₂ ≥ 6 mmHg	PVC > 12 mmHg	Contractilidad disminuida + DvaCO ₂ ≥ 6 mmHg	Contractilidad disminuida + PVC > 12 mmHg
Sensibilidad	80 %	80 %	100 %	100 %	80 %	80 %
Especificidad	94 %	81 %	63 %	81 %	100 %	100 %
VPP	80 %	57 %	45 %	63 %	100 %	100 %
VPN	94 %	93 %	100 %	100 %	94 %	94 %
X ² (p)	11,422 (p= 0,001)	6,431 (p= 0,011)	5,966 (p= 0,015)	10,664 (p= 0,001)	15,812 (p= 0,000)	15,812 (p= 0,000)

VCI: Vena cava inferior; DavO₂: Diferencia arterio - venosa O₂; DvaCO₂: Diferencia veno - arterial CO₂; PVC: Presión venosa central;

VPP: Valor predictivo positivo; VPN: Valor predictivo negativo

Similar utilidad diagnóstica se observó al detectar alteraciones en la PO₂/FiO₂, la ausencia de líneas A, y la presencia de líneas B para identificar el ELWI mayor de 10 ml/kg (S: 100 %; E: 43 %; VPP: 47 %; VPN: 100 %; p= 0,04; S: 29 %; E: 100 %; VPP: 100 %; VPN: 74 %; p= 0,035; S: 100 %; E: 64 %; VPP: 58 %; VPN: 100 %; p= 0,005; respectivamente) (Tabla 4). Al agrupar las alteraciones encontradas en la PO₂/FiO₂ y la presencia de líneas B, aumentó el valor diagnóstico, con una S y E de 100 % y 71 %, respectivamente, y un VPP y VPN de 64 % y 100 %, respectivamente; p= 0,002.

Tabla 4 - Fiabilidad diagnóstica de las variables citadas en relación con ELWI

Variables	PO ₂ /FiO ₂	Ausencia líneas A	Presencia líneas B	Presencia líneas B + PO ₂ /FiO ₂
Sensibilidad	100 %	29 %	100 %	100 %
Especificidad	43 %	100 %	64 %	71 %
VPP	47 %	100 %	58 %	64 %
VPN	100 %	74 %	100 %	100 %
X ² (p)	4,2 (p= 0,04)	4,421 (p= 0,035)	7,875 (p= 0,005)	9,545 (p= 0,002)

PO₂/FiO₂: Relación presión arterial de O₂/ fracción inspirada de O₂; VPP: Valor predictivo positivo; VPN: Valor predictivo negativo

Se observó que hallar DavO₂ por debajo de su valor normal permitió detectar IRVS disminuidas (Tabla 5), con una S y E de 62 % y 88 %, respectivamente. Hubo un VPP de 89 % y un VPN de 58 %; p= 0,027.

Tabla 5 - Fiabilidad diagnóstica de las variables citadas en relación con IRVS

Variables	DavO ₂
Sensibilidad	62 %
Especificidad	88 %
VPP	89 %
VPN	58 %
X ² (p)	4,863 (p= 0,027)

DavO₂: Diferencia arterio – venosa O₂; VPP: Valor predictivo positivo; VPN: Valor predictivo negativo

Discusión

Diversos estudios han evidenciado la utilidad de la ecografía en la detección de alteraciones en la hemodinamia de pacientes graves. El RUSH ha sido uno de los protocolos más utilizados, especialmente en emergencias, pues ha tenido alta precisión en diagnosticar distintas causas de *shock*. Además, el uso de otras herramientas como la PVC, la SvcO₂, la DavO₂, así como la DvaCO₂, han permitido estimar alteraciones hemodinámicas, sus causas, y un manejo adecuado del paciente crítico.

Este estudio identificó una alta probabilidad de detectar IC disminuido al observar por ecografía una disminución en la contractilidad, no colapso de VCI, así como valores elevados de PVC, y DvaCO₂ ≥ 6 mmHg. Esta probabilidad fue mayor cuando en un mismo paciente se identificó más de una alteración, principalmente en la asociación entre contractilidad y DavCO₂, y contractilidad y PVC.

Reza y otros,⁽⁷⁾ así como Bagheri-Hariri y otros,⁽⁸⁾ pudieron identificar pacientes con *shock* cardiogénico mediante el protocolo RUSH con alta sensibilidad y especificidad. Además, se ha descrito por diversos autores que el aumento del diámetro y la disminución del colapso de la VCI, expresado en un aumento de la PVC, son parte de los signos que presentan pacientes con disfunción del ventrículo izquierdo, y son utilizados como herramienta para el diagnóstico del shock cardiogénico.^(9,10) A su vez, la DvaCO₂ ≥ 6 mmHg ha sido reportada como marcador de mala perfusión tisular, descrita, entre otros fenómenos, por estancamiento y enlentecimiento en la circulación, como aparece en pacientes con alteraciones en el gasto cardiaco de diversa etiología. Dres y otros, así como otros autores, han descrito la relación existente entre esta variable y la función cardiaca, como se evidenció en el presente artículo.^(11,12,13)

Con respecto al edema pulmonar, objetivado por el agua extravascular pulmonar, se han planteado diversas herramientas para identificarlo, desde la auscultación de crepitantes, la radiografía de tórax, hasta la ecografía pulmonar. La extravasación de líquido, que comienza en el intersticio y termina en el alveolo, altera el intercambio gaseoso, causa hipoxia y disminuye la PO_2/FiO_2 . Diversos autores han descrito la presencia y cuantía de líneas B en la ecografía pulmonar como expresión de edema, y han encontrado una significativa relación entre ambas variables.^(14,15) A su vez, la pérdida del patrón ecográfico pulmonar normal (presencia de líneas A) se ha asociado a este fenómeno.^(16,17) Todo esto coincide con lo encontrado en nuestro estudio, donde la ausencia de líneas A, la presencia de líneas B, y $PO_2/FiO_2 \leq 300$ mostraron alta precisión diagnóstica para identificar un aumento en el agua extravascular pulmonar, específicamente mayor de 10 ml/kg. Cuando coincidió la presencia de líneas B con una PO_2/FiO_2 alterada, aumentó la precisión diagnóstica.

Llama la atención que el valor de corte de ELWI de 10 ml/kg fue el que se asoció con alteraciones de la oxigenación y hallazgos ecográficos; no fue así con los 7 ml/kg recomendados por el fabricante de PiCCO. Esto ha sido descrito por otros autores, los cuales han observado que la expresión clínica e imagenológica del edema pulmonar ocurre cuando sobrepasa cifras más altas de ELWI que las establecidas.⁽¹⁸⁾ Ello se podrá tener en cuenta a la hora de manejar pacientes que necesitarán aporte de volumen, pero que presentarán aumento en la permeabilidad vascular. De esta manera, se podrá ser menos estricto en la restricción de fluidos que en otras ocasiones.

Este estudio no evidenció utilidad en las variables descritas, incluido el porcentaje de colapso de la VCI, para estimar el estado de volemia definido por el índice de volumen global al final de diástole. La literatura revisada muestra resultados diversos. Un estudio realizado previamente en el CIMEQ, encontró asociación significativa entre el GEDI y el diámetro de la VCI.⁽¹⁹⁾ En otra investigación realizada por *Adel Elbaih* y otros se comprobó la utilidad del protocolo RUSH para detectar *shock* hipovolémico en pacientes politraumatizados.⁽²⁰⁾ Sin embargo, otros no han encontrado similares resultados.^(21,22)

Varios factores pueden afectar la interpretación del estado de volemia por ecografía: pacientes con respiraciones espontáneas, irregulares, con polipnea, entre otros, hechos que no se discriminaron en este estudio. Otro elemento que pudo influir en los presentes resultados fue no haber utilizado el diámetro de la VCI. No obstante, los autores de la presente investigación consideran útil el grado de colapso de la VCI para estimar el estado de volemia, aunque se debe utilizar con precaución en el momento de interpretar lo hallado.

Resultó interesante encontrar asociación significativa entre la $DavO_2$ y el IRVS, con precisión diagnóstica para estimar IRVS disminuidas con $DavO_2 < 4$ ml/dl. En la literatura reciente no se encontró estudios que describieran este fenómeno específico.

La $DavO_2$ muestra la cantidad de mililitros de O_2 que es extraído a través de los capilares por cada decilitro de volumen sanguíneo circulante. Si el IC se mantuviera constante, las variaciones en la $DavO_2$ reflejarían la utilización o consumo de O_2 por los tejidos. En pacientes con *shock* séptico, donde hay lesión tisular inflamatoria, existiría un defecto y disminución en la utilización celular de O_2 , que podrá estar reflejado en $DavO_2$ disminuidas, hecho que explicaría este hallazgo.⁽⁵⁾ No obstante este resultado, los autores sugieren seguir profundizando en investigaciones posteriores antes de asumirlo como preciso.

Este estudio presenta una serie de pocos casos, de diversa etiología, hechos que pudieran limitar la extrapolación de los resultados.

A manera de conclusión, existió una buena correlación entre variables de oxigenación, de CO_2 , PVC, y ecografía, con el índice cardiaco y el agua extravascular pulmonar. No se observó una adecuada asociación entre las variables anteriormente citadas y el estado de volemia definido por el GEDI. La ecografía, así como la $DvaCO_2$ y la PVC pueden ser útiles para el manejo hemodinámico, específicamente en pacientes con disfunción cardiaca y edema pulmonar.

Referencias bibliográficas

1. Huygh J, Peeters Y, Bernards J, Malbrain M. Hemodynamic monitoring in the critically ill: an overview of current cardiac output monitoring methods. *F1000Research*. 2016;5: F1000 Faculty Rev-2855. Doi: 10.12688/f1000research.8991.1
2. Paul L. Marino. Chapter 8 The Pulmonary Artery Catheter. En: Brown B, Dernoski N, editores. Marino's The ICU Book. 4 ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2014. p 125-40.
3. Danin P, Siegenthaler N, Levraut J, Bernardin G, Dellamonica J, Bendjelid K. Monitoring CO_2 in shock states. *J Clin Monit Comput*. 2015;29:591-600.
4. Mahajan R, Peter J, John G, Graham P, Rao S, Pinsky M. Patterns of central venous oxygen saturation, lactate and veno-arterial CO difference in patients with septic shock. *Indian J Crit Care Med*. 2015;19(10):580-6.

5. Paul L Marino. Chapter 10 Systemic Oxygenation. En: Brown B, Dernoski N, editores. Marino's The ICU Book. 4 ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2014. p 157-79.
6. Perera P, Maillhot T, Riley D, Mandavia D. The RUSH Exam: Rapid Ultrasound in SHock in the Evaluation of the Critically Ill. *Emerg Med Clin N Am*. 2010;28:29-56.
7. Reza M, Hadi M, Ebrahimi M, Samimi K, Rezaee M, Rasouli HR, et al. Accuracy of Rapid Ultrasound in Shock (RUSH) Exam for Diagnosis of Shock in Critically Ill Patients. *Trauma Mon*. 2015;20(1):5.
8. Bagheri-Hariri S, Yekesadat M, Farahmand S, Arbab M, Sedaghat M, Shahlafar N, et al. The impact of using RUSH protocol for diagnosing the type of unknown shock in the emergency department. *Emerg Radiol*. 2015;22:517-20.
9. Vincent JL, De Backer D. Circulatory shock. *N Engl J Med*. 2013;369(18):1726-34. Doi: 10.1056/NEJMra1208943
10. McLean AS. Echocardiography in shock management. *Critical Care*. 2016;20(275):1-10.
11. Dres M, Monnet X, Teboul J. Hemodynamic management of cardiovascular failure by using PCO₂ venous-arterial difference. *J Clin Monit Comput*. 2012;26:367-74.
12. Naumann D, Midwinter M, Hutchings S. Venous-to-arterial CO₂ differences and the quest for bedside point-of-care monitoring to assess the microcirculation during shock. *Ann Transl Med*. 2016;4(2):37.
13. Mallat J, Lemyze M, Tronchon L, Vallet B, Thevenin D. Use of venous-to-arterial carbon dioxide tension difference to guide resuscitation therapy in septic shock. *World J Crit Care Med*. 2016;5(1):47-56.
14. Zhao Z, Jiang L, Xi X, Jiang Q, Zhu B, Wang M, et al. Prognostic value of extravascular lung water assessed with lung ultrasound score by chest sonography in patients with acute respiratory distress syndrome. *BMC Pulmonary Medicine*. 2015;15:98.
15. Ha Y, Toh H. Clinically integrated multi-organ point-of-care ultrasound for undifferentiated respiratory difficulty, chest pain, or shock: a critical analytic review. *Journal of Intensive Care*. 2016;4:54.
16. Picano E, Pellikka P. Ultrasound of extravascular lung water: a new standard for pulmonary congestion. *European Heart Journal*. 2016;37:2097-104.
17. Enghard P, Rademacher S, Nee J, Hasper D, Engert U, Jörres A, et al. Simplified lung ultrasound protocol shows excellent prediction of extravascular lung water in ventilated intensive care patients. *Critical Care*. 2015;19:36.

18. Bataille B, Rao G, Cocquet P, Mora M, Masson B, Ginot J, et al. Accuracy of ultrasound B-lines score and E/Ea ratio to estimate extravascular lung water and its variations in patients with acute respiratory distress syndrome. *J Clin Monit Comput.* 2015;29:169-76.
19. Cueto A, Quevedo Y, Abdo A, Alonso P, Martínez R, Leal G. Ultrasonografía torácica en la valoración hemodinámica del paciente crítico en comparación con parámetros de termodilución transpulmonar. *Invest Medicoquir.* 2017;9(1):26-38.
20. Elbaih A, Housseini A, Khalifa EM. Accuracy and outcome of rapid ultrasound in shock and hypotension (RUSH) in Egyptian polytrauma patients. *Chinese Journal of Traumatology.* 2018;21:156-62.
21. Gui J, Yang Z, Ou B, Xu A, Yang F, Chen Q, et al. Is the Collapsibility Index of the Inferior Vena Cava an Accurate Predictor for the Early Detection of Intravascular Volume Change? *Shock.* 2018;49(1):29-32.
22. Millington SJ. Ultrasound assessment of the inferior vena cava for fluid responsiveness: easy, fun, but unlikely to be helpful. *Can J Anaesth.* 2019;66(6):633-8. Doi: 10.1007/s12630-019-01357-0

Conflicto de intereses

Los autores no declaran conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Alejandro Castellanos García. Concepción, diseño, definición del contenido intelectual, búsqueda de literatura, estudio clínico, estudio experimental, adquisición de los datos, análisis de los datos, análisis estadístico, preparación del manuscrito, edición del manuscrito, revisión del manuscrito.

Anselmo Abdo Cuza. Diseño, definición del contenido intelectual, estudio clínico, estudio experimental, análisis de los datos, preparación del manuscrito, edición del manuscrito, revisión del manuscrito.

Yalina Quevedo Benítez. Definición del contenido intelectual, estudio clínico, estudio experimental, adquisición de los datos, análisis de los datos, edición del manuscrito, revisión del manuscrito.

Geydy Leal Alpizar. Definición del contenido intelectual, estudio clínico, estudio experimental, adquisición de los datos, análisis de los datos.

Roberto Castellanos Gutiérrez. Definición del contenido intelectual, estudio clínico, estudio experimental, adquisición de los datos, análisis de los datos, revisión del manuscrito.

Francisco Gómez Peire. Definición del contenido intelectual, adquisición de los datos, análisis de los datos, revisión del manuscrito.

Guillermo Pérez Aspuro. Adquisición de los datos, análisis de los datos, revisión del manuscrito.

Juan Antonio Gutiérrez Martínez. Adquisición de los datos, análisis de los datos, revisión del manuscrito.

Namibia Espinosa Nodarse. Adquisición de los datos, análisis de los datos, revisión del manuscrito.

Juan Carlos López González. Adquisición de los datos, análisis de los datos, revisión del manuscrito.

Guillermo Díaz Piloto. Adquisición de los datos, análisis de los datos, revisión del manuscrito.

Yanet Cordero Vasallo. Adquisición de los datos, análisis de los datos, revisión del manuscrito.

Leanet María Quiles Gómez. Adquisición de los datos, análisis de los datos, revisión del manuscrito.

Emi Hernández Fernández. Adquisición de los datos, análisis de los datos, revisión del manuscrito.