



Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Médicas
Carrera de Posgrado de Especialización en Anestesiología

**Ultrasonografía Doppler de la arteria braquial vs.
índice de variabilidad pletismográfica como
predictores de respuesta a fluidos**

Alumna: Alonso, Leonela¹

Tutor: Ogusuku, Diego²

Cotutor: Perez, Eduardo Carlos³

CENTRO FORMADOR: Hospital Provincial del Centenario

AÑO 2025

¹ Médica. Alumna de la Carrera de Posgrado de Especialización en Anestesiología, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Rosario.

² Especialista en Anestesiología. Docente Estable de la Carrera de Posgrado de Especialización en Anestesiología de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de Rosario.

³ Especialista en Anestesiología. Jefe del Servicio de Anestesiología del Hospital Provincial del Centenario. Director de la Carrera de Posgrado de Especialización en Anestesiología de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de Rosario.

RESUMEN

Introducción: La evaluación precisa del estado hemodinámico de los pacientes quirúrgicos permite individualizar la toma de decisiones terapéuticas para reducir complicaciones postoperatorias, acortar la estadía hospitalaria y disminuir el gasto en salud. El soporte hemodinámico se basa principalmente en dos estrategias: la administración endovenosa de fluidos y la utilización de drogas vasoactivas e inotrópicas. Diversos métodos, tanto invasivos como no invasivos, han sido desarrollados para orientar la toma de decisiones terapéuticas. En escenarios quirúrgicos, la búsqueda de herramientas no invasivas, reproducibles, disponibles y aplicables a pie de cama ha cobrado especial relevancia. Durante la anestesia general, la ventilación mecánica con presión positiva genera oscilaciones cíclicas en los volúmenes y presiones ventriculares, lo que permite utilizar estos cambios como marcadores de precarga-dependencia, entendiendo esta como la capacidad del corazón de modificar el volumen sistólico en respuesta a cambios en la precarga, aumentando el gasto cardíaco. Este comportamiento fisiológico es la base de técnicas diagnósticas no invasivas, como el índice de variabilidad pletismográfica (IVP) medido por coximetría y la valoración ecográfica de la variación respirofásica del flujo máximo (ΔV_{peak}) y del tiempo de flujo corregido (FTc) en la arteria braquial. **Objetivo:** Comparar la ΔV_{peak} y el FTc de la arteria braquial medidos por ultrasonografía con el IVP medido por coximetría como predictores de respuesta a fluidos en pacientes mecánicamente ventilados sometidos a anestesia general en cirugías videolaparoscópicas. **Materiales y método:** Se realizó un estudio de carácter experimental y prospectivo en pacientes sometidos a anestesia general para cirugía electiva videolaparoscópica. Se establecieron tres tiempos para el registro de las variables: el primer tiempo luego de la intubación orotraqueal, el segundo tiempo luego de administrar una carga controlada de fluidos y el tercer tiempo luego de la estabilización del neumoperitoneo. Se registraron para cada tiempo las mediciones ecográficas de la arteria braquial determinando el ΔV_{peak} y el FTc. Se registró también para cada tiempo el IVP y variables hemodinámicas: frecuencia cardíaca, presión arterial sistólica, presión arterial diastólica y presión arterial media (FC, PAS, PAD y PAM). **Resultados:** Se analizaron 60 pacientes, de los cuales el 88,3 % fueron categorizados como respondedores a fluidos según el IVP. La evaluación ecográfica de la arteria braquial mediante el ΔV_{peak} y el FTc se correlacionó con el IVP. Se estableció un punto de corte óptimo de ΔV_{peak} de 11,5 % con una sensibilidad de 81 % y una especificidad de 100 %. Para FTc se estableció un punto de corte de 348ms con una sensibilidad de 70 % y una especificidad de 86 %.

Luego de una carga de líquidos endovenosos, solamente el 5 % de los pacientes fue catalogado como respondedor a fluidos, y luego del establecimiento del neumoperitoneo, el 8,3 % de los pacientes fue catalogado como respondedor a fluidos. Conclusión: La evaluación ultrasonográfica de la arteria braquial a través del ΔV_{peak} y el FTc pudo predecir adecuadamente la respuesta a fluidos en pacientes mecánicamente ventilados de forma comparable a la predicción estimada por el IVP.

PALABRAS CLAVE

ULTRASONOGRAFIA – ARTERIA BRAQUIAL – RESPUESTA A FLUIDOS –
MONITORIZACION HEMODINAMICA – INDICE DE VARIABILIDAD
PLETISMOGRAFICA

ULTRASONOGRAPHY – BRACHIAL ARTERY – FLUID RESPONSIVENESS –
HEMODYNAMIC MONITORING – PLETHYSMOGRAPHIC VARIABILITY
INDEX

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
PALABRAS CLAVE.....	2
ÍNDICE.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
OBJETIVO.....	7
MATERIAL Y MÉTODOS.....	7
RESULTADOS.....	10
DISCUSIÓN.....	13
CONCLUSIÓN.....	15
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	16

INTRODUCCIÓN

En los pacientes sometidos a intervenciones quirúrgicas se modifica el estado hemodinámico a expensas de factores como las horas de ayuno, la reposición de líquidos en el tiempo de internación, las drogas utilizadas durante el procedimiento y el aporte de soluciones endovenosas. La reposición del volumen intravascular con diferentes tipos de soluciones y la administración de fármacos (vasoactivos y/o inotrópicos) son dos estrategias terapéuticas frecuentemente utilizadas en este tipo de pacientes.

La reposición de fluidos incrementa el retorno venoso, el gasto cardíaco, la presión arterial y, en última instancia, mejora la perfusión tisular periférica. Una administración excesiva o prolongada puede, por ejemplo, empeorar condiciones patológicas preexistentes o desencadenar alteraciones respiratorias, cardiovasculares y hematológicas, generando disfunción multiorgánica. De la misma forma, una terapia farmacológica con vasoactivos o inotrópicos implementada en pacientes con depleción de volumen puede desencadenar estados arritmogénicos, baja perfusión en órganos centrales (cerebro, corazón y riñones) y empeorar el cuadro clínico subyacente (1).

Para prevenir los efectos deletéreos de cualquier conducta destinada a mejorar el estado hemodinámico, la elección de esta debe ser individualizada entendiendo el contexto clínico particular de cada paciente.

Los pacientes sometidos a anestesia general frecuentemente tienen un balance hidroelectrolítico negativo y tienden a desarrollar un desequilibrio hemodinámico. Por lo tanto, es de suma importancia estimar el estado de precarga-dependencia en el perioperatorio para optimizar las medidas de reanimación con soluciones intravenosas.

La precarga es uno de los determinantes principales del gasto cardíaco. Se define como el grado de estiramiento máximo o tensión de las fibras miocárdicas antes del inicio de la contracción ventricular y está determinada por la longitud media de los sarcómeros al final de la diástole. Clínicamente, esta definición es poco práctica, difícilmente aplicable y sustituida con frecuencia por medidas más accesibles de llenado ventricular, como las presiones intracavitarias o los volúmenes telediastólicos.

Según la Ley de Frank-Starling, existe una relación positiva entre la precarga y el volumen sistólico, de tal modo que, cuanto mayor es la precarga ventricular, mayor es el volumen sistólico. Una vez alcanzado un valor concreto de precarga, incrementos posteriores no tienen traducción significativa en el volumen sistólico. La representación

gráfica de este comportamiento se denomina curva de Frank-Starling o curva de función ventricular (2).

La precarga-dependencia es la capacidad del corazón de modificar el volumen sistólico ante cambios de la precarga. Esta dependerá del valor basal de precarga y de la zona de la curva de Frank-Starling en la que operan ambos ventrículos. Para que se produzca un aumento del volumen sistólico izquierdo, ambos ventrículos deben operar en la pendiente o zona de precarga-dependencia de la curva. En caso contrario, cualquier medida terapéutica dirigida a incrementar la precarga (como la administración de fluidos) ocasionará un aumento de las presiones intracardíacas sin beneficio hemodinámico alguno (2). Estimar la precarga-dependencia permite ubicar en la curva de Frank-Starling a los pacientes como respondedores a fluidos. Estos se definen como aquellos cuyo gasto cardíaco aumenta un 10-15 % luego de una expansión con volumen (3).

Un factor que afecta y modifica la curva de función ventricular es la ventilación con presión positiva, situación que sucede durante una anestesia general. La instauración de la ventilación mecánica con presión positiva induce cambios cíclicos en el volumen sistólico del ventrículo izquierdo. Durante la inspiración, el incremento en la presión intratorácica ocasionado por la insuflación mecánica disminuye la precarga del ventrículo derecho al dificultar el retorno venoso, disminuyendo su volumen de eyección. Por otra parte, el volumen sanguíneo contenido en el circuito pulmonar es empujado hacia el ventrículo izquierdo, incrementando su precarga y su volumen de eyección durante la fase inspiratoria. Posteriormente, tras completar el tiempo del tránsito pulmonar, la disminución del volumen sistólico del ventrículo derecho se traduce en un descenso en el llenado ventricular izquierdo y en una reducción de su volumen de eyección durante la fase espiratoria. La magnitud de estas oscilaciones en dichos volúmenes y presiones es proporcional al grado de precarga-dependencia (4). En pacientes mecánicamente ventilados con presión positiva, esta interacción pulmón-corazón se traduce como variaciones intermitentes en la onda de pulso y la presión de pulso de las arterias periféricas. Estas variaciones son particularmente significativas en estados de depleción de volumen.

Existen diversas herramientas para determinar con qué estrategia optimizar el estado hemodinámico de cada paciente, individualizando la toma de decisiones y tratando de disminuir las complicaciones asociadas. Recientemente, se han introducido mediciones

dinámicas, no invasivas y accesibles que evalúan el rendimiento cardiovascular basándose en los cambios en la precarga y la respuesta del gasto cardíaco ante variaciones de volumen como herramientas útiles para este propósito (5). Estas medidas comparten una base fisiológica común y se caracterizan en función de la señal biológica estudiada. Algunos ejemplos son la variación de la presión de pulso, el índice de variabilidad pletismográfica (IVP), la evaluación ecográfica de vasos de capacitancia y de arterias periféricas (como la variación respiratoria del diámetro de la vena cava inferior, el tiempo de flujo corregido (FTc) y la variabilidad respirofásica (ΔV_{peak}) de la arteria braquial), entre otras. La amplia disponibilidad del ultrasonido en el punto de atención (*point of care ultrasound* – POCUS) en áreas de cuidados críticos y escenarios quirúrgicos justifica su utilización como método no invasivo, costo efectivo, reproducible lejos del campo quirúrgico y al pie de cama y que requiere un entrenamiento rápidamente alcanzable para evaluar el estado del volumen y la respuesta a fluidos (6, 7).

La variabilidad de la velocidad del flujo sanguíneo en arterias periféricas en pacientes mecánicamente ventilados y su expresión a través del FTc y la ΔV_{peak} se correlaciona con el gasto cardíaco y, al tratarse de vasos superficiales como lo es la arteria braquial, permite una calidad superior de la imagen ecográfica (8 – 11). La ΔV_{peak} de la arterial braquial tiene una sensibilidad del 74 % y una especificidad del 95 % para estimar la respuesta a fluidos (12).

Además de las mediciones ecográficas, existen otros métodos para estimar la respuesta o no a la expansión con líquidos. Entre ellos se encuentra el IVP medido por coximetría de pulso, que es el porcentaje de variación de la onda pletismográfica en relación con los ciclos respiratorios en pacientes mecánicamente ventilados (13). El IVP se calcula con base en el índice de perfusión (PI), siendo este último una valoración relativa de la presión de pulso en el sitio de registro. Su cálculo se basa en el hecho de que el flujo de sangre arterial es pulsátil y el resto de los tejidos no lo son. La relación entre ambos componentes de la onda se expresa como PI (14, 15).

El IVP, al igual que las mediciones ecográficas mencionadas, ha sido indicado como un predictor de la respuesta a la administración de fluidos en pacientes mecánicamente ventilados tanto en cirugía como en cuidados intensivos (16, 17), calificando como respondedores a expansión con fluidos a los pacientes cuyo IVP es mayor de 14 % (18).

De esta manera se planteó la siguiente hipótesis: la medición de la ΔV_{peak} y el FTc de la arteria braquial, al igual que el IVP, pueden tener utilidad predictiva en la respuesta a fluidos en pacientes sometidos a anestesia general mecánicamente ventilados.

OBJETIVO

Comparar la ΔV_{peak} y el FTc de la arteria braquial medidos por ultrasonografía con el IVP medido por cooximetría como predictores de respuesta a fluidos en pacientes mecánicamente ventilados sometidos a anestesia general en cirugías videolaparoscópicas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Luego de la aprobación del proyecto por parte del Comité de Ética del Hospital Provincial del Centenario de la ciudad de Rosario, se llevó a cabo el siguiente estudio de carácter experimental y prospectivo. El mismo se realizó durante el período comprendido entre diciembre de 2024 y marzo de 2025.

Previa firma del correspondiente Consentimiento Informado, se reclutaron 60 pacientes de acuerdo con los siguientes criterios.

Criterios de inclusión: pacientes categorizados como clase I y II de la American Society of Anesthesiologists (ASA), entre 18 y 65 años, con un valor de índice de masa corporal (IMC) menor a 30, sometidos a anestesia general para cirugía videolaparoscópica electiva, que cuenten con al menos 6 horas de ayuno.

Criterios de exclusión: pacientes que presenten arritmias cardíacas, pacientes que se encuentren en tratamiento con vasoactivos o inotrópicos (hipotensión con PAS <70mmHg), pacientes con fracción de eyección del ventrículo izquierdo menor a 45 % (determinada por ecocardiografía, resonancia magnética nuclear cardíaca y/o cateterismo cardíaco), pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) severa, pacientes con anemia severa (Hb<8g/dl), pacientes con enfermedad vascular periférica severa, pacientes con alergia conocida a alguno de los medicamentos utilizados en el protocolo, pacientes con alteraciones anatómicas (traumáticas, quirúrgicas o congénitas) de los miembros superiores.

Todos los pacientes contaron con un examen preanestésico realizado en consultorio externo.

Al ingresar al bloque quirúrgico, los pacientes fueron recibidos en la Sala de Preanestesia donde se registraron variables demográficas (edad, sexo, peso, talla, IMC), clasificación

ASA, y se colocó un acceso venoso periférico calibre nº 18 en el tercio distal del miembro superior derecho.

Se trasladaron al quirófano correspondiente donde se monitorizaron con monitores multiparamétricos Dräger Vista 120S® registrando frecuencia cardíaca (FC), electrocardiograma de tres derivaciones, presión arterial sistólica (PAS), diastólica (PAD) y media (PAM), y pulsioximetría con IVP con cooxímetro de pulso Masimo Rainbow SET® en la plataforma Root®. Se inició una infusión intravenosa de mantenimiento de Ringer lactato a 4mL/kg/hr con bomba de infusión volumétrica ICU Medical Plum 360®. Se realizó la inducción de la anestesia general con fentanilo a 1,5 microgramos/kg, propofol a 2 mg/kg y vecuronio a 0,1mg/kg. Se realizó la intubación orotraqueal pasados 3 minutos de la inyección del vecuronio, y el mantenimiento de la anestesia se realizó con remifentanilo a 0,3 ug/kg/min, y sevoflurane según neuromonitoreo con SedLine®, manteniendo un Patient State Index™ (PSI) entre 25 y 50, y un límite espectral (SEF: Spectral Edge Frequency) entre 12 y 14. Se ventiló mecánicamente a los pacientes en modo volumen control con un volumen corriente de 6 ml/kg de peso ideal, 12 ventilaciones por minuto, con una presión positiva de fin de espiración de 6 cmH₂O, relación inspiración-espiración 1:2 y se monitorizó con capnógrafo disponible en cada mesa de anestesia para mantener valores de capnometría entre 35 y 40 mmHg.

El **primer tiempo (T1)** para registrar las variables se estableció pasados 5 minutos desde la intubación orotraqueal. Se realizaron las mediciones ecográficas de la arteria braquial registrando el FTc y la ΔV_{peak} . Se registraron además el IPV, FC, PAS, PAD y PAM.

A continuación, se realizó una carga de fluidos endovenosos con solución de Ringer lactato a 5ml/kg en 5 minutos. Luego de 2 minutos de administrada la carga, se registraron nuevamente las variables correspondiendo este al **segundo tiempo** de medición (**T2**).

Se continuaron las infusiones de mantenimiento previamente mencionadas y se registraron las variables en un **tercer tiempo (T3)** luego de la estabilización del neumoperitoneo con una presión de 12 mmHg y un flujo de dióxido de carbono de 20 litros por minuto.

Las mediciones ecográficas se realizaron con un ecógrafo Mindray MX7 (disponible y operativo actualmente en el servicio) con un transductor lineal de alta frecuencia. Se realizaron con el miembro superior en posición anatómica, colocando el transductor 5 a 10 cm proximal a la fosa antecubital. Luego de confirmar la ubicación correcta de la arteria braquial, se rotó el transductor para obtener una imagen lineal de la misma y se colocó el área de muestreo en el centro de la luz de esta. Se realizó la corrección angular

(<60°) y se registró con la función de Doppler pulsado la curva de flujo de la arteria braquial. Se congeló la imagen una vez estabilizada para realizar las mediciones con la función de calibre del equipo y se registraron de la siguiente manera:

$\Delta V_{\text{peakbraquial}}\%$:

$$100 \times (V_{\text{peakmax}} - V_{\text{peakmin}}) / [(V_{\text{peakmax}} + V_{\text{peakmin}}) / 2]$$

donde V_{peakmax} es la velocidad pico máxima y V_{peakmin} es la velocidad pico mínima, valores automáticamente entregados por el software del equipo en el análisis de la curva de flujo durante un ciclo respiratorio. Se consideran significativos, según la bibliografía (2, 3, 9, 10), puntos de corte de 10 a 13% en la evaluación ecográfica para predecir efectivamente la respuesta hemodinámica a la terapia de expansión con líquidos en pacientes mecánicamente ventilados.

FTc:

$$FT + [1.29 \times (FC - 60)]$$

donde FT es el tiempo de flujo medido con la función calibre del equipo en una curva de pulso sistólico, desde el inicio de la pendiente ascendente de la curva hasta el final de la pendiente descendente de la muesca incisural (*notch*). FC es la frecuencia cardíaca, también obtenida automáticamente por el equipo. Se considera significativo según la bibliografía (11) un punto de corte de 330ms.

En iguales tiempos (T1, T2 y T3) se registró el valor de IVP por cooximetría.

Luego de registradas las variables en los tres tiempos, finalizó el estudio. Todos los datos fueron registrados en una planilla de recolección de datos diseñada para tal fin.

Análisis estadístico:

Se presenta el promedio acompañado del desvío estándar (DE) para describir las variables continuas y las frecuencias junto con los porcentajes para las variables categóricas. Se analizó la capacidad predictiva de los parámetros ecográficos evaluados (ΔV_{peak} y FTc) sobre la condición de paciente respondedor a fluidos mediante un modelo de regresión logística y las correspondientes medidas diagnósticas: sensibilidad, especificidad, valor predictivo negativo (VPN) y valor predictivo positivo (VPP). Los puntos de corte óptimos se eligieron en función del valor máximo del índice de Youden (19). Para el procesamiento se utilizó R Core Team (2025) (20).

RESULTADOS

Se incluyeron 60 pacientes, de los cuales 33 (55 %) fueron mujeres. La edad media de la población fue de 43 años (DE: 12 años) y el IMC medio fue de 27,4 kg/m² (DE: 3 kg/m²).

En el primer tiempo (T1), 53 pacientes (88 %) fueron categorizados como respondedores a fluidos según el IVP con un punto de corte de 14.

En cuanto al ΔV_{peak} , teniendo en cuenta el punto de corte de 10 %, el 83 % (50 pacientes) fueron categorizados como respondedores, mientras que, teniendo en cuenta el punto de corte de 13 %, el 67 % (40 pacientes) fueron catalogados como tal.

Además, se analizó el FTc según el punto de corte de 330 ms, y el 60 % (36 pacientes) fueron categorizados como respondedores a fluidos.

De acuerdo con el índice de Youden, los puntos de corte óptimos en función de los pacientes evaluados serían: para el ΔV_{peak} 11,5 % y para el FTc 348 ms (Figuras 1 y 2). Los respectivos valores de sensibilidad, especificidad, VPP y VPN se presentan tanto para estos cortes como para los demás en la Tabla 1.

Tabla 1 – Valor del AUC, sensibilidad, especificidad, VPP y VPN para los predictores de paciente respondedor considerados

Predictor de paciente respondedor	AUC	Sensibilidad	Especificidad	VPP	VPN
$\Delta V_{peak} \geq 10 \%$	0,81	91 %	71 %	96 %	50 %
$\Delta V_{peak} \geq 11,5 \%^*$	0,90	81 %	100 %	100 %	41 %
$\Delta V_{peak} \geq 13 \%$	0,88	75 %	100 %	100 %	35 %
$FTc \leq 330$	0,76	66 %	86 %	97 %	25 %
$FTc \leq 348^*$	0,78	70 %	86 %	97 %	27 %

* Punto de corte elegido según el valor del Índice de Youden.

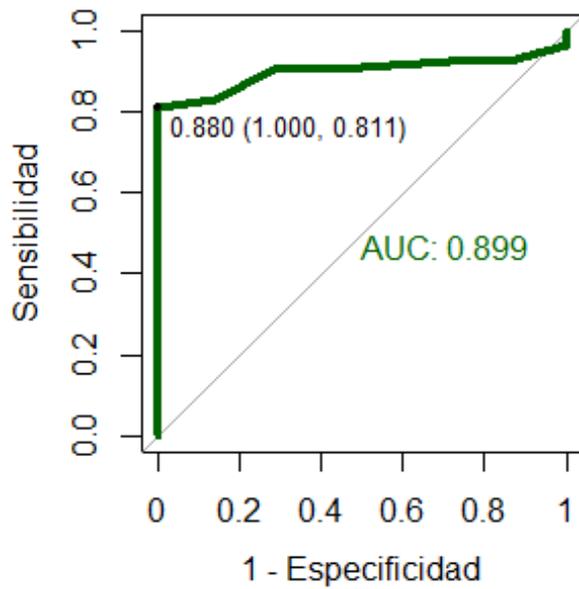


Figura 1 – Curva ROC correspondiente al análisis del ΔV_{peak}

Umbral óptimo de probabilidad es 0,88 el cual corresponde a un valor de ΔV_{peak} de 11,5. Sensibilidad 0,811. Especificidad 1

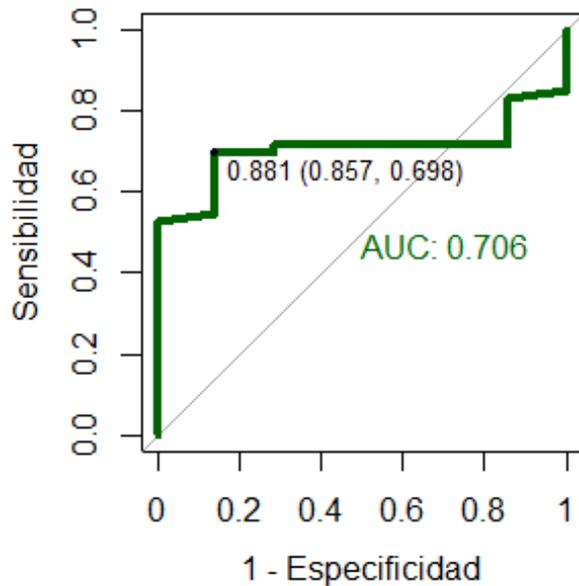


Figura 2 – Curva ROC correspondiente al análisis del FTc

Umbral óptimo de probabilidad es 0,88 el cual corresponde a un valor de FTc de 348ms. Sensibilidad 0,70. Especificidad 0,86

El análisis de los valores en el segundo tiempo del estudio (T2) muestra el comportamiento del estado hemodinámico de los pacientes luego de la intervención realizada (carga de fluidos). En este tiempo, los pacientes respondedores a fluidos fueron 3, es decir, el 5 %.

El análisis en el tercer tiempo (T3) ilustra el comportamiento de los pacientes frente a un nuevo desequilibrio hemodinámico impuesto por la insuflación del neumoperitoneo. Habiendo realizado una carga de fluidos de 5 ml/kg, en el T3 hubo un 8,3 % (5 pacientes) que se categorizaron como respondedores a fluidos.

En las Figuras 1, 2 y 3 se muestra la relación entre los valores de T1 y T2 obtenidos para IVP, ΔV_{peak} y FTc respectivamente.

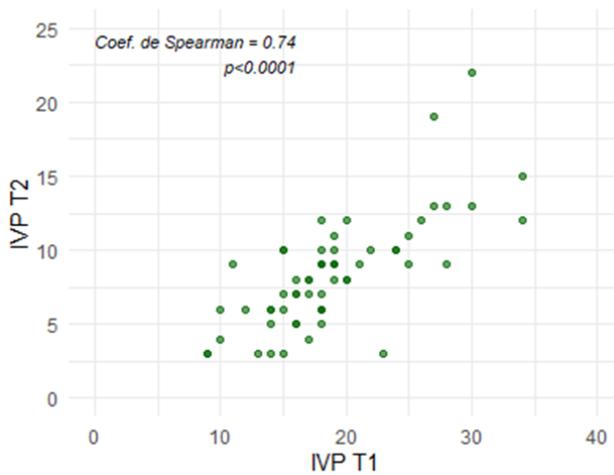


Figura 1 – Distribución de los valores de IVP en T1 y T2.

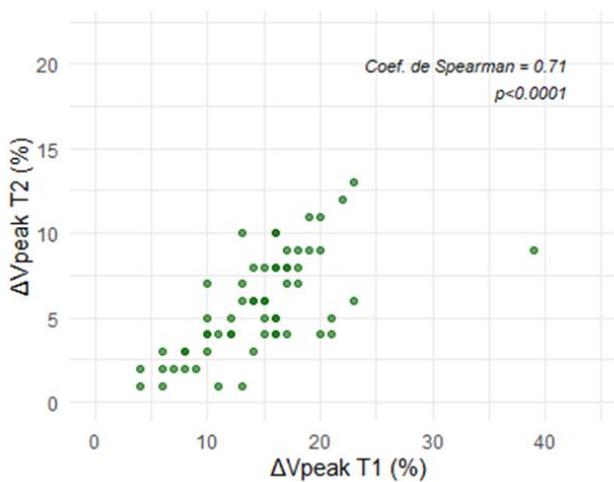


Figura 2 – Distribución de los valores de ΔV_{peak} (%) en T1 y T2.

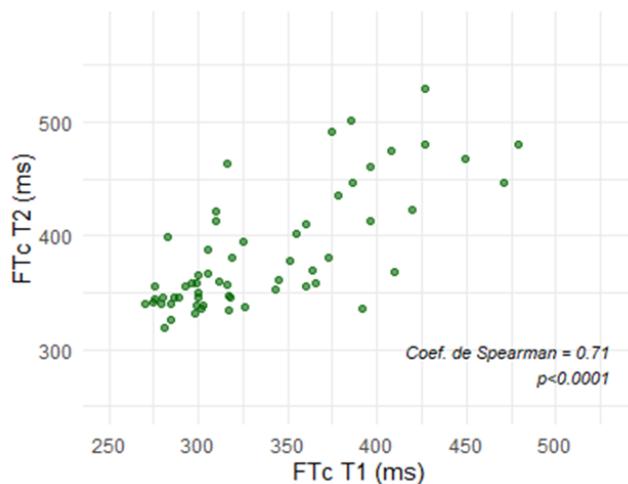


Figura 3 – Distribución de los valores de FTc (ms) en T1 y T2.

En la Tabla 2 se muestran los promedios de las 3 variables medidas en cada tiempo del estudio.

Tabla 2 – Promedio (DE) para los parámetros IVP, ΔV_{peak} (%) y FTc (ms) en cada momento de medición.

Parámetro	T1	T2	T3
IVP	18,9 (5,7)	8,4 (3,7)	8,5 (3,4)
ΔV_{peak}	14,5 (5,7)	5,8 (3,0)	5,5 (2,5)
FTc	335,1 (54,6)	381,9 (54,2)	378,6 (44,9)

No se reportaron eventos adversos que obligaran a suspender el protocolo. Tampoco se reportaron inconvenientes para realizar las mediciones en los pacientes evaluados.

DISCUSIÓN

El presente estudio evaluó la eficacia de la ultrasonografía doppler de la arteria braquial, midiendo la ΔV_{peak} y el FTc para predecir la respuesta hemodinámica a la terapia de expansión con fluidos endovenosos comparándola con el IVP medido por coximetría de pulso.

Los resultados de este estudio muestran concordancia con los trabajos que proponen la evaluación del estado hemodinámico a través de índices dinámicos en pacientes

mecánicamente ventilados para reflejar el estado de precarga dependencia y adecuar las conductas terapéuticas individualizadas (2-5). En los estudios citados se valoran los métodos no invasivos, entre ellos el IVP y las mediciones ecográficas, como el ΔV_{peak} y el FTc, por su baja tasa de complicaciones y fácil reproducibilidad al pie de cama para la toma de decisiones en distintos contextos clínicos.

En cuanto a la evaluación ultrasonográfica de la arteria braquial, este estudio obtuvo valores óptimos a partir del método de Youden, con alta sensibilidad y especificidad tanto para el ΔV_{peak} (11,5 %) como para el FTc (348 ms), muy similares a los valores obtenidos en los trabajos realizados por Monge García y col. (9), Brennan y col. (10) y Shen y col. (11).

Los valores de ΔV_{peak} y FTc obtenidos para cada paciente a través de los tres tiempos propuestos en el protocolo mostraron variaciones comparables con las registradas para el IVP, reflejando además la repercusión hemodinámica luego de una carga de líquidos endovenosos.

Sumado a la comparabilidad de la ultrasonografía de la arteria braquial con otro método validado como es el IVP, la curva de aprendizaje para la adquisición de la competencia manual es breve y el territorio anatómico sobre el que se realiza la evaluación es accesible en un gran número de procedimientos quirúrgicos, lo que supone una ventaja sobre otras mediciones ecográficas validadas para evaluar el estado hemodinámico y la precarga dependencia, como la colapsabilidad de la vena cava inferior.

Este estudio presentó una serie de limitaciones: fue realizado por un único operador, por lo que no fue posible evaluar la variabilidad interobservador, ya que, si bien la adquisición de la competencia manual es relativamente sencilla, la experiencia del operador y la calidad de la imagen obtenida pueden influir en la precisión de los resultados. Además, no se utilizó ningún método, invasivo o no invasivo, para medir objetivamente el gasto cardíaco y correlacionar que los cambios en los valores de IVP, ΔV_{peak} y FTc tras la administración de fluidos se acompañe de un aumento del 10-15 % del volumen sistólico, y poder, de este modo, no solo predecir la respuesta a la terapia de expansión con líquidos, sino también objetivarla y cuantificarla.

CONCLUSIÓN

Los resultados del presente estudio mostraron que tanto el ΔV_{peak} como el FTc medidos por ultrasonografía en la arteria braquial, al igual que el IVP, fueron predictores adecuados para categorizar a los pacientes como respondedores a fluidos. Además, luego de realizar una carga de líquidos endovenosos, descendieron los valores de IVP y de la misma manera descendieron los valores de ΔV_{peak} y aumentaron los valores de FTc, lo que demuestra la respuesta hemodinámica tras la intervención.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Jozwiak M, Monnet X, Teboul JL. Prediction of fluid responsiveness in ventilated patients. *Annals of translational medicine*. Septiembre de 2018;6(18):352-352. doi: 10.21037/ATM.2018.05.03. PMID: 30370279.
2. Sabatier C, Monge I, Maynar J, Ochagavia A. Valoración de la precarga y la respuesta cardiovascular al aporte de volumen. *Medicina Intensiva*. Febrero de 2012;36(1):45-55.
3. Horejsek J, Kunstyr J, Michalek P, Porizka M. Novel Methods for Predicting Fluid Responsiveness in Critically Ill Patients-A Narrative Review. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*. Febrero de 2022;12(2). doi: 10.3390/DIAGNOSTICS12020513. PMID: 35204603.
4. Lee SH, Chun YM, Oh YJ, Shin S, Park SJ, Kim SY, et al. Prediction of fluid responsiveness in the beach chair position using dynamic preload indices. *J Clin Monit Comput*. Diciembre de 2016;30(6):995-1002. doi: 10.1007/s10877-015-9821-5. PMID: 26719298.
5. Fischer MO, Guinot PG, Biais M, Mahjoub Y, Mallat J, Lorne E, et al. A dynamic view of dynamic indices. *Minerva Anesthesiol*. Octubre de 2016;82(10):1115-21. PMID: 27407021.
6. Zhang Q, Shi XR, Shan Y, Wan J, Ju X, Song X, et al. Respiratory Variations in Peak Peripheral Artery Velocities and Waveforms for Rapid Assessment of Fluid Responsiveness in Traumatic Shock Patients. *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research*. Enero de 2021;27. doi: 10.12659/MSM.928804. PMID: 33414360.
7. Joshi M, Dhakane P, Bhosale SJ, Phulambrikar R, Kulkarni AP. Correlation between Carotid and Brachial Artery Velocity Time Integral and Their Comparison to Pulse Pressure Variation and Stroke Volume Variation for Assessing Fluid Responsiveness. *Indian J Crit Care Med*. Febrero de 2022;26(2):179-84. doi: 10.5005/jp-journals-10071-24115. PMID: 35712738. PMCID: PMC8857717.
8. Yao B, Liu JY, Sun YB. Respiratory variation in peripheral arterial blood flow peak velocity to predict fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: a systematic review and meta-analysis. *BMC anesthesiology*. Noviembre de 2018;18(1). doi: 10.1186/S12871-018-0635-0. PMID: 30424730.

9. Monge García MI, Gil Cano A, Díaz Monrové JC. Brachial artery peak velocity variation to predict fluid responsiveness in mechanically ventilated patients. *Crit Care*. 2009;13(5): R142. doi: 10.1186/cc8027. Epub 2009 Sep 3. PMID: 19728876; PMCID: PMC2784351.
10. Brennan JM, Blair JEA, Hampole C, Goonewardena S, Vasaiwala S, Shah D, et al. Radial artery pulse pressure variation correlates with brachial artery peak velocity variation in ventilated subjects when measured by internal medicine residents using hand-carried ultrasound devices. *Chest*. Mayo de 2007;131(5):1301-7. doi: 10.1378/chest.06-1768. PMID: 17494781.
11. Shen J, Dai S, Tao X, Chen X, Xu L. Corrected flow time and respirophasic variation in blood flow peak velocity of radial artery predict fluid responsiveness in gynecological surgical patients with mechanical ventilation. *BMC anesthesiology*. Diciembre de 2022;22(1). doi: 10.1186/S12871-022-01837-9. PMID: 36123625.
12. Wu J, Wang Z, Wang T, Yu T, Yuan J, Zhang Q, et al. Evaluation of the fluid responsiveness in patients with septic shock by ultrasound plus the passive leg raising test. *J Surg Res*. Abril de 2018; 224:207-14. doi: 10.1016/j.jss.2017.12.014. PMID: 29506842.
13. Elshal MM, Hasanin AM, Mostafa M, Gamal RM. Plethysmographic Peripheral Perfusion Index: Could It Be a New Vital Sign? *Front Med (Lausanne)*. Octubre 2021; 8:651909. doi: 10.3389/fmed.2021.651909.
14. Soto G, Cortiñas L, Galeotti G. Índice de Variabilidad Pletismográfica (PVI): Monitoreo continuo y no invasivo de la administración de fluidos. *RAA*. Junio de 2013;71(2):48-58.
15. Martínez-Sedas GD. El oxímetro de pulso: más información de la que pensamos. *Rev Mex Anestesiología*. 2024; 47 (1): 30-34. <https://dx.doi.org/10.35366/114094>
16. Maughan BC, Seigel TA, Napoli AM. Pleth variability index and fluid responsiveness of hemodynamically stable patients after cardiothoracic surgery. *Am J Crit Care*. Marzo de 2015;24(2):172-5. doi: 10.4037/ajcc2015864. PMID: 25727278
17. Siswojo AS, Wong DMY, Phan TD, Kluger R. Pleth variability index predicts fluid responsiveness in mechanically ventilated adults during general anesthesia for noncardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. Diciembre de 2014;28(6):1505-9. doi: 10.1053/j.jvca.2014.04.010. PMID: 25169895.

18. Bapteste L, Carrillon R, Javelier S, Guyotat J, Desgranges FP, Lehot JJ, et al. Pulse Pressure Variations and Plethysmographic Variability Index Measured at Ear Are Able to Predict Fluid Responsiveness in the Sitting Position for Neurosurgery. *J Neurosurg Anesthesiol.* Julio de 2020;32(3):263-7. doi: 10.1097/ANA.0000000000000587. PMID: 30789383.
19. Youden, W. J. (1950). Index for rating diagnostic tests. *Cancer*, 3(1), 32–35. [http://doi.org/10.1002/1097-0142\(1950\)3:1<32::AID-CNCR2820030106>3.0.CO;2-3](http://doi.org/10.1002/1097-0142(1950)3:1<32::AID-CNCR2820030106>3.0.CO;2-3)
20. R Core Team (2025), R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>