

Comparación del gasto cardíaco medido por bioimpedancia eléctrica transesofágica, termodilución y mediante una ecuación teórica. Estudio comparativo

Dr. Silvestre De La Cruz B,* Dr. Walter Querevalú M,* Dr. Héctor Barragán M,* Dr. Jesús Martínez M,* Dr. Wilfredo García R*

RESUMEN

Objetivo: Comparar tres métodos para medir el gasto cardíaco en pacientes críticos.

Diseño: Serie de casos.

Lugar: UCI de un hospital de asistencia pública de México.

Pacientes: Cincuenta pacientes críticos inestables.

Intervenciones: Ninguna.

Mediciones y resultados principales: Determinamos el gasto cardíaco mediante bioimpedancia eléctrica transesofágica (BE), termodilución (TD) y una ecuación teórica (ET, $GC = 125 \times SC/8.5 \times D(a-v)O_2$, donde: GC = gasto cardíaco, L/min, 125 constante, SC = superficie corporal, 8.5 = constante y $D(a-v)O_2$ = diferencia arteriovenosa de oxígeno). El gasto cardíaco medido por termodilución fue de 10.2 ± 3.8 L/min, por BE 10.4 ± 3.6 L/min y por la ecuación teórica 6.2 ± 1.3 L/min ($p < 0.05$).

Conclusión: El GC medido por BE y por TD en este estudio fue similar, pero el estimado mediante una ecuación fue inexacto.

Palabras clave: Gasto cardíaco, termodilución, bioimpedancia, ecuaciones, pacientes críticos.

La medición del gasto cardíaco permite evaluar la función circulatoria durante los períodos críticos que ponen en peligro la vida de los pacientes.¹ La determinación del gasto cardíaco mediante termodilución utilizando un catéter arterial pulmonar, se considera la prueba de oro para este propósito.¹ Sería deseable medir el gasto cardíaco en pacientes críticos mediante procedimientos no invasivos

SUMMARY

Objective: To establish a comparison between three methods to measure cardiac output in critically ill patients.

Design: Case series report.

Setting: ICU of a community hospital of Mexico City.

Patients: Fifty unstable ICU patients.

Interventions: None.

Measurements and main results: We measured cardiac output by transesophageal (EB), thermodilution (TD) and a theoretic equation (TE, $CO = 125 \times BS/8.5 \times C(a-v)O_2$, where: CO = cardiac output, L/min, 125 constant, BS = body surface, 8.5 = constant and $C(a-v)O_2$ = arteriovenous oxygen content difference). Cardiac output measured by thermodilution was 10.2 ± 3.8 L/min, by EB 10.4 ± 3.6 L/min and by the theoretic equation 6.2 ± 1.3 L/min ($p < 0.05$).

Conclusion: CO measured by BE and by TD in this study was similar, but CO estimated by a equation was inexact.

Key words: Cardiac output, thermodilution, transesophageal bioimpedance, equations, critically ill patients.

para evitar los riesgos inherentes a la cateterización vascular y a la inyección de sustancias potencialmente peligrosas.²

El sistema de bioimpedancia eléctrica transtorácica es un procedimiento no invasivo para medir el gasto cardíaco.¹ El primer sistema de este tipo fue desarrollado por primera vez por Kubicek et al^{1,2} en 1974. Las mediciones del gasto cardíaco por termodilución y bioimpedancia han sido comparados en varios estudios con resultados variables.^{2,3} Otra alternativa para la medición del gasto cardíaco es por el método de bioimpedancia eléctrica a través de un

* Unidad de Terapia Intensiva del Hospital Central de la Cruz Roja Mexicana, México, D.F.

transductor esofágico.³ En nuestro país aunque existen pocos estudios al respecto,^{1,4-6} se considera que el uso de bioimpedancia eléctrica es una herramienta muy valiosa en la evaluación del paciente crítico cuando existen limitaciones para el empleo del procedimiento tradicional. El método de Fick para la estimación del gasto cardíaco se ha empleado por mucho tiempo y se le considera en la actualidad, que tiene márgenes de error amplio.^{7,8} También se han utilizado fórmulas a partir de los gases sanguíneos con resultados muy poco confiables.^{9,10}

En este trabajo nuestro objetivo fue establecer una comparación entre la medición directa del gasto cardíaco por termodilución, el obtenido por bioimpedancia eléctrica transesofágica y el estimado mediante una fórmula basada en la diferencia arteriovenosa de oxígeno.

PACIENTES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio prospectivo, longitudinal y comparativo en la Unidad de Terapia Intensiva del Hospital Central de La Cruz Roja Mexicana, del 15 de octubre de 1997 al 12 de agosto de 1998.

Criterios de inclusión. Pacientes de 18 a 60 años de edad, de uno y otro sexo, con indicación para determinar el gasto cardíaco.

Criterios de no inclusión. Pacientes con lesiones esofágicas o valvulopatías.

Criterios de exclusión. Se excluyeron a los pacientes que no concluyeron el estudio.

Se dividieron a los pacientes en tres grupos. Al grupo I se le determinó el gasto cardíaco por termodilución, al grupo II se le determinó por bioimpedancia eléctrica transesofágica y al grupo III se le estimó mediante una ecuación.

Termodilución. Se instaló un catéter de flotación en la arteria pulmonar (Abbot Criticare Medicine Inc) guiado mediante curvas de presión a través de un monitor Hewlett Packard, modelo M1204R y su posición final se corroboró con un radiografía de tórax portátil. El gasto cardíaco se midió por triplicado en cada paciente con un equipo HP Omni Care CMS, modelo 24, Basic Monitoring, Runtime 27, utilizando solución salina al 0.9% a 4 °C en menos de 4 segundos.

Bioimpedancia eléctrica transesofágica. Se colocó un transductor esofágico (Biomed Medical Manufacturing) provisto de cuatro electrodos de 62 cm de largo y 7 mm de diámetro y con el mismo número de terminales que se conectaron a un monitor mismo número de terminales que se conecta-

ron a un monitor también fabricado por Biomed Medical Manufacturing, modelo NCC0M3. El transductor se instaló a la manera de una sonda orogástrica. Su posición se verificó mediante una radiografía de tórax portátil. El gasto cardíaco se obtuvo con el principio básico de Kubicek modificado por Sramer y Bernstein, con alta frecuencia y bajo voltaje. Se determinó el gasto cardíaco al mismo tiempo que se media con el método de termodilución.

Gasto cardíaco estimado mediante una fórmula. En forma teórica el gasto cardíaco podría estimarse a partir de la diferencia arteriovenosa oxígeno de la manera siguiente:

$$GC = 125 \times SC/8.5 \times D(a-v)O_2$$
, donde: GC = gasto cardíaco en L/min, 125 constante, SC = superficie corporal, 8.5 = constante y D(a-v)O₂ = diferencia arteriovenosa de oxígeno. En este estudio se hicieron los cálculos correspondientes en base a la determinación de los gases sanguíneos que se tomaron para efectuar el cálculo de los otros parámetros hemodinámicos.

RESULTADOS

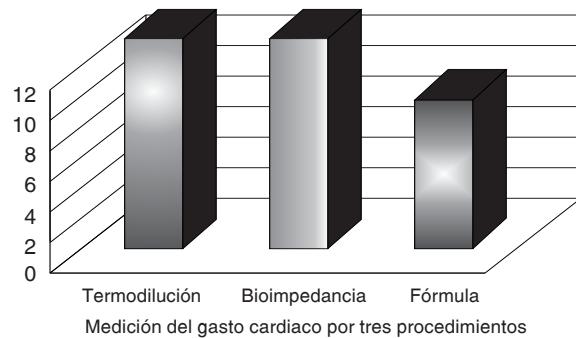
Se incluyeron 50 pacientes en este estudio, que requirieron monitoreo hemodinámico invasivo. Fueron 12 mujeres y 38 hombres cuyas edades promedio fueron de 25.6 y 29.4 años, respectivamente. La mayoría los pacientes tuvieron lesiones traumáticas graves. Los problemas que se observaron con más frecuencia fueron sepsis, tórax inestable, embolia grasa y lesiones hepáticas traumáticas que requirieron empaquetamiento (*cuadro I*). El gasto cardíaco medido por termodilución fue de 10.2 ± 3.8 L/min, por bioimpedancia eléctrica 10.4 ± 3.6 L/min y el estimado de 6.2 ± 1.3 L/min ($p < 0.05$); (*cuadro II*). En la *figura 1* se aprecia más claramente esta diferencia.

Cuadro I. Demografía.

Número de pacientes	Diagnósticos
10	Tórax inestable
5	Lesión diafragmática
8	Embolia grasa
1	Infarto agudo al miocardio
6	Empaquetamiento hepático
3	Quemadura por corriente 3er. G
1	Quemadura por fuego directo 3er. G
8	SIRPA
8	Sepsis abdominal (abdomen abierto)

Cuadro II. Valores del gasto cardiaco medido por tres métodos a 50 pacientes críticos.

Número	Gasto cardiaco termodilución	Gasto cardiaco BEE	Gasto cardiaco método Fick
1	5.6 L/min	5.8 L/min	7.6 L/min
2	10.7 L/min	10.5 L/min	4.4 L/min
3	12.3 L/min	12.5 L/min	5.6 L/min
4	15.2 L/min	15.4 L/min	4.7 L/min
5	16.4 L/min	16.8 L/min	7.1 L/min
6	8.1 L/min	8.3 L/min	5.6 L/min
7	14.9 L/min	14.7 L/min	7.2 L/min
8	12.0 L/min	12.4 L/min	6.9 L/min
9	14.1 L/min	13.9 L/min	7.8 L/min
10	11.8 L/min	12.1 L/min	6.8 L/min
11	15.9 L/min	15.5 L/min	7.9 L/min
12	9.2 L/min	9.0 L/min	6.3 L/min
13	10.0 L/min	10.2 L/min	5.7 L/min
14	6.4 L/min	6.0 L/min	4.9 L/min
15	6.2 L/min	6.8 L/min	5.0 L/min
16	10.0 L/min	10.6 L/min	4.3 L/min
17	7.4 L/min	7.6 L/min	4.8 L/min
18	8.3 L/min	8.1 L/min	5.0 L/min
19	9.2 L/min	9.2 L/min	5.2 L/min
20	4.0 L/min	4.4 L/min	7.3 L/min
21	6.9 L/min	7.2 L/min	8.0 L/min
22	9.9 L/min	9.7 L/min	4.9 L/min
23	10.2 L/min	10.7 L/min	5.9 L/min
24	10.8 L/min	11.0 L/min	6.2 L/min
25	12.7 L/min	12.9 L/min	4.9 L/min
26	7.5 L/min	8.9 L/min	9.0 L/min
27	7.4 L/min	7.8 L/min	6.5 L/min
28	12.9 L/min	12.4 L/min	5.3 L/min
29	13.0 L/min	13.3 L/min	4.7 L/min
30	4.5 L/min	4.9 L/min	8.3 L/min
31	12.0 L/min	12.4 L/min	5.0 L/min
32	13.6 L/min	12.4 L/min	5.8 L/min
33	13.0 L/min	12.7 L/min	5.8 L/min
34	14.7 L/min	14.9 L/min	7.0 L/min
35	3.5 L/min	3.9 L/min	6.7 L/min
36	16.0 L/min	17.2 L/min	4.7 L/min
37	7.3 L/min	7.4 L/min	8.1 L/min
38	12.7 L/min	12.5 L/min	4.4 L/min
39	15.3 L/min	15.0 L/min	5.9 L/min
40	13.9 L/min	13.2 L/min	7.7 L/min
41	3.5 L/min	3.7 L/min	0.8 L/min
42	8.3 L/min	8.6 L/min	7.5 L/min
43	8.1 L/min	9.0 L/min	3.97 L/min
44	9.7 L/min	9.2 L/min	6.1 L/min
45	11.3 L/min	10.8 L/min	6.1 L/min
46	14.9 L/min	14.3 L/min	8.3 L/min
47	5.6 L/min	5.9 L/min	9.0 L/min
48	4.8 L/min	5.2 L/min	6.7 L/min
49	16.1 L/min	15.7 L/min	4.8 L/min
50	4.0 L/min	5.0 L/min	7.1 L/min
	10.2 ± 3.8 L/min	10.4 ± 3.6	6.2 ± 1.3

**Figura 1.** Se observa similitud entre el gasto cardiaco medido por termodilución y el obtenido por bioimpedancia eléctrica. La fórmula no coincide con estos métodos.

DISCUSIÓN

Los pacientes en estado crítico frecuentemente requieren que se les determine el gasto cardíaco.^{1,2,4,6,9-15} Desde 1970, se utiliza ampliamente como herramienta para definir los perfiles hemodinámicos de los pacientes críticos.^{12,15} La información hemodinámica que proporciona no puede ser sustituida sólo con el diagnóstico clínico.¹² La termodilución es el método de elección es el procedimiento para determinar con seguridad el gasto cardíaco.^{1,10,12-15} En los últimos años se ha desarrollado una gran variedad de procedimientos no invasivos (análisis de curvas de presión, análisis de CO₂, ultrasonografía por Doppler y bioimpedancia eléctrica).¹⁰ El uso de bioimpedancia eléctrica transtorácica y transesofágica ha sido señalado como útil en la determinación del gasto cardíaco del paciente crítico.^{2,3,5} Sin embargo, muchos intensivistas no han encontrado que estos métodos alternativos sean útiles en el monitoreo hemodinámico del paciente crítico.¹⁰ El gasto cardíaco estimado mediante el principio de Fick también ha sido cuestionado^{7,8} y el empleo de fórmulas es muy discutible.^{9,10}

En el presente estudio se comparó el gasto cardíaco por termodilución, por bioimpedancia eléctrica transesofágica y mediante una fórmula basada en la diferencia arteriovenosa de oxígeno, en un hospital de concentración donde fundamentalmente se atienden pacientes con trauma. Se encontró que el gasto cardíaco medido por bioimpedancia eléctrica transesofágica es muy semejante al obtenido por termodilución en bolos, lo que coincide con lo reportado por otros autores.³ En el estudio de Balestra se encontró que el gasto cardíaco fue de 6.7 ± 3.1 L/min por termodilución y 6.6 ± 3.1 L/min,

comparable a nuestros resultados (10.4 ± 3.6 L/min por termodilución y 10.2 ± 3.8 L/min por bioimpedancia eléctrica transesofágica); ésta es la mayor serie de casos reportada en nuestro medio y donde los resultados son muy parecidos a las determinaciones por termodilución en bolos. En otros estudios de bioimpedancia eléctrica en nuestro país, los resultados han sido muy variables. En los estudios de Querevalú et al hubo discrepancia entre ambos métodos y correspondió a un reporte de caso.⁴ Huerta et al encontraron buena concordancia en una serie de siete casos.¹ Sin embargo, el consenso actual es que este tipo de procedimiento es confiable y aplicable a la cabecera del paciente, especialmente cuando no está indicado o no se puede efectuar monitoreo invasivo.²

La importancia de los métodos no invasivos para medir el gasto cardíaco radica en el hecho de que aunque la termodilución es considerado el método más real para medir el gasto cardíaco, se requiere de un catéter arterial pulmonar, cuyo uso está relacionado con varias complicaciones.^{1,3,12-14} Por ésta y otras razones, los métodos simples, seguros, baratos que se puedan efectuar a la cabecera del paciente, serán en el futuro indispensables en el manejo del paciente crítico.³

El empleo del método de Fick tiene muchas limitaciones y no es confiable. A pesar de que se han tratado de reducir los errores en las mediciones, se ha observado una diferencia importante entre la estimación del consumo de oxígeno por el método de Fick y el determinado por espirometría, por lo mismo deberá utilizarse con cautela en el paciente crítico.⁵

El uso de fórmulas para estimar el gasto cardíaco tiene un margen de error más grande que el del método de Fick y por lo mismo no tienen aplicación en los pacientes críticos y no deben sustituir a los procedimientos ya aceptados.^{9,10}

Concluimos que la medición del gasto cardíaco por bioimpedancia eléctrica transesofágica es un método confiable, poco invasivo, que se puede utilizar a la cabecera de la cama del paciente crítico, que tiene resultados semejantes al método de termodilución por bolos, es de fácil aplicación y no requiere entrenamiento especial. El uso de fórmulas no está justificado y debe evitarse.

BIBLIOGRAFÍA

1. Huerta-Torrijos J, Lázaro C JL, Domínguez G LR, Sánchez Velázquez LD, Bautista BE. Comparación entre el gasto cardíaco (GC) medido por los métodos de termodilución (TD) y bioimpedancia eléctrica torácica. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int* 1996;10:214-217.
2. Shoemaker WC, Wo ChCJ, Bishop MH et al. Multicenter trial of a new thoracic electrical bioimpedance device for cardiac output estimation. *Crit Care Med* 1994;22:1907-1924.
3. Balestra B, Malacrida R, Leonardi L, Suter P, Marone C. Esophageal electrodes allow precise assessment of cardiac output by bioimpedance. *Crit Care Med* 1992;20:62-67.
4. Querevalú MWA, Rentería AMC, Chío MR, Morales CI. Hemopericardio secundario a perforación de ventrículo derecho. Informe de un caso. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int* 1995;9:20-22.
5. Arrazola GF, Aponte UJM, Solórzano MJ. Bioimpedancia eléctrica transtorácica. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int* 1995;9:167-172.
6. Querevalú MWA, Pérez CR, Chío MR, Morales CI. Estudio hemodinámico por bioimpedancia eléctrica torácica en pacientes pre y postrevascularizados de corazón. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int* 1995;9:46-48.
7. Thrush DV. Spirometric versus Fick-derived oxygen consumption: Which method is better? *Crit Care Med* 1996;24:91:95.
8. Stock MCh, Ryan ME. Oxygen consumption calculated from the Fick equation has limited utility. *Crit Care Med* 1996;24:86-90.
9. Sánchez VID. Comparación de dos fórmulas para calcular el gasto cardíaco contra el método de termodilución. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int* 1998;12:54-60.
10. Cruz ME, Hernández-Rojas ME. Evaluación no invasiva del gasto cardíaco en pacientes críticos. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int* 1998;12:47-48.
11. Cerón DUW, Mathieu VJP, Sierra UA, Martínez ZR. Utilidad del catéter de Swan-Ganz: estudio de casos y controles. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int* 1998;12:7-15.
12. Cruz ME, Hernández-Rojas ME. Catéter arterial pulmonar: ¿Es útil en el manejo el paciente en estado crítico? *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int* 1997;11:96-97.
13. Huerta-Torrijos J, Bautista BE, Sánchez VLD. Catéter de la arteria pulmonar. ¿Se debe retirar de las unidades de terapia intensiva? *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int* 1997;1:17-21.
14. Pulmonary Artery Consensus Conference. Consensus Statement. *New Hor* 1997;5:173-174.
15. Swan HJC, Ganz W, Forrester J et al. Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *N Engl J Med* 1979;283:447-451.

Correspondencia:

Dr. Silvestre De La Cruz B
Unidad de Terapia Intensiva
Hospital Central de la Cruz Roja Mexicana
Av. Ejército Nacional, CP 12510.
Tel. (5) 3-95-11-11, Ext. 177.