



ORIGINAL

Experiencia clínica de monitorización hemodinámica del *shock* mediante el sistema PiCCO®

J. Gil Antón^{a,*}, C. Cecchetti^b, S. Menéndez^c, F.J. Cambra^d,
J. López-Herce^e y A. Rodríguez- Núñez^f

^aUCIP, Hospital de Cruces, Vizcaya, España

^bDepartamento de Emergencias, Hospital Pediátrico Bambino Gesù, Roma, Italia

^cUCIP, Hospital Central de Asturias, Oviedo, España

^dUCIP, Hospital San Joan de Deu, Barcelona, España

^eUCIP, Hospital General Universitario Gregorio Marañón, Madrid, España

^fUnidad de Emergencias y Cuidados Críticos, Hospital Clínico Universitario, Santiago de Compostela, España

Recibido el 28 de enero de 2009; aceptado el 30 de abril de 2009

Disponible en Internet el 10 de julio de 2009

PALABRAS CLAVE

Gasto cardíaco;
Termodilución;
Shock;
Expansión
volumétrica

Resumen

Objetivo: Evaluar la utilidad clínica del empleo del sistema de monitorización PiCCO® (*pulse induced contour cardiac output* ‘gasto cardíaco por análisis del contorno de la onda de pulso’) en pacientes pediátricos en situación de *shock*.

Pacientes y métodos: Estudio analítico prospectivo y multicéntrico en niños de un mes a 18 años en situación de *shock* ingresados en 5 unidades de cuidados intensivos pediátricos. Se realizaron mediciones antes y después de 3 tipos de intervenciones: a) expansión volumétrica; b) aumento de dosis en fármacos vasoactivos, y c) cambio de dosis en fármacos que pudieran disminuir las resistencias periféricas. Los parámetros que se recogieron incluyeron los datos obtenidos de las termodiluciones junto con los parámetros hemodinámicos habituales.

Resultados: Se realizaron 120 mediciones en 35 pacientes de edad de 36 (2,6 a 156) meses y peso de 15 (5,8 a 72) kg. La etiología del *shock* fue séptica (37%), cardiogénica (26%), hipovolémica (20%) y neurogénica (17%). No se registraron complicaciones en relación con el procedimiento. Se registraron 22 expansiones volumétricas en 17 pacientes, que produjeron una elevación significativa del ITBI (*intrathoracic blood volume index* ‘índice de volumen de sangre intratorácico’) de 501(235 a 763) a 584 ml/m² (418 a 810), del CI (*cardiac index* ‘índice cardíaco’) de 4,04 (2,58 a 6,25) a 4,48 l/min/m² (2,86 a 8,71) y de la presión arterial media de 74 (53 a 99) a 87 mmHg (59 a 112). Los cambios en el CI se correlacionaron con el incremento del ITBI (coeficiente de correlación = 0,678; p = 0,001). Las 13 intervenciones destinadas a incrementar el tono vasomotor se asociaron a un incremento del índice de resistencia vascular sistémica del 18%.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: javier.gilanton@osakidetza.net (J. Gil Antón).

KEYWORDS

Cardiac output;
Thermodilution;
Shock;
Volume load

Conclusiones: La monitorización hemodinámica mediante el sistema PiCCO[®] es factible y parece segura en pacientes pediátricos en *shock*. Los datos de monitorización obtenidos podrían añadir información relevante sobre el estado de precarga y la respuesta hemodinámica a sus modificaciones.

© 2009 Asociación Española de Pediatría. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Preliminary clinical experience with PiCCO[®] system in children with shock
Abstract

Purpose: To evaluate the PiCCO[®] hemodynamics monitor in terms of clinical usefulness in children with shock.

Methods: Prospective multicenter analytical study in children aged from one month to 18 years with shock admitted to five pediatric intensive care units. Measurements were made before and after three interventions: a) volume load; b) increases in vasoactive drugs; c) dosage changes of drugs that could lessen vascular resistance. Recorded parameters included thermodilution data, along with the usual hemodynamic parameters.

Results: A total of 120 measurements were performed on 35 patients: mean age 36 (2.6–156) months, mean weight 15 (5.8–72) kg. Shock etiology was septic in 37% of cases, cardiogenic in 26%, hypovolemic in 20% and neurogenic in 17%. No procedure related complication was noticed. Twenty-two volume challenges in 17 patients were registered. Volume load induced a significant intrathoracic blood volume index (ITBI) increase from 501 (235–763) to 584 (418–810) ml/m², cardiac index (CI) 4.04 (2.58–6.25) to 4.48 (2.86–8.71) l min⁻¹ m², and mean blood pressure from 74 (53–99) to 87 (59–112) mmHg. CI changes correlated with ITBI increase ($r = 0.678$, $p = 0.001$). 13 interventions to increase vasomotor tone were associated with an increase in contractility of 18% in systemic vascular resistance index (SVRI).

Conclusions: Hemodynamic monitoring with the PiCCO[®] system is feasible and seems safe in children with shock. PiCCO[®] derived parameters could add clinically important information to assess preload state and its modifications with therapy.

© 2009 Asociación Española de Pediatría. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

La monitorización hemodinámica es esencial para un tratamiento apropiado dirigido a objetivos terapéuticos en los pacientes críticos. En las situaciones de *shock* es especialmente interesante conseguir una adecuada medición del gasto cardíaco (GC) y sus determinantes¹. Con ese propósito se ha venido utilizando, fundamentalmente en pacientes adultos, el catéter arterial pulmonar. El uso de este dispositivo invasivo ha demostrado en un metaanálisis una tendencia a mejorar la supervivencia² y una reducción de la morbilidad³. Sin embargo, tras haberse utilizado durante décadas, hoy en día su utilidad clínica y sus indicaciones son seriamente cuestionadas^{4,5}. Este hecho viene a confirmar la necesidad de realizar estudios clínicos sobre la utilización de nuevas tecnologías antes de generalizar su uso⁶. La disponibilidad de nuevos sistemas de monitorización semiinvasivos⁷ basados en la termodilución transpulmonar (TDTP), como el sistema PiCCO[®] (*pulse induced contour cardiac output* ‘gasto cardíaco por análisis del contorno de la onda de pulso’) (Pulsion medical systems AG, Munich, Alemania), podría ofrecer a las unidades de cuidados intensivos (UCI) pediátricos la posibilidad de medir de forma continua el GC así como conocer datos objetivos sobre los parámetros que lo determinan, como la precarga, la resistencia sistémica y la contractilidad.

La técnica de TDTP se basa en el análisis de la curva de variación térmica, que se genera en la sangre de la circulación sistémica tras la inyección de un volumen de suero a una temperatura conocida a través de una vena central. El lugar donde se coloca el catéter para obtener esta curva es la arteria femoral en los pacientes pediátricos. Esta técnica posibilita, además del conocimiento del GC, la obtención de una serie de parámetros calculados: volumen de sangre intratorácico, resistencia vascular sistémica, volumen sistólico y agua extravascular pulmonar. Para el uso pediátrico y de modo automático los datos se refieren a la superficie corporal del paciente, éstos se obtienen de forma de índice: ITBI (*intrathoracic blood volume index* ‘índice de volumen de sangre intratorácico’), SVRI (*systemic vascular resistance index* ‘índice de resistencia vascular sistémica’), SVI (*systolic volumen index* ‘índice de volumen sistólico’) y EWLI (*extravascular water lung index* ‘índice de agua extravascular pulmonar’).

La fiabilidad de este sistema se ha probado en estudios experimentales^{8–10}, así como en estudios clínicos en adultos^{11–13} y niños^{14–17}. Sin embargo, no se dispone de experiencias que demuestren su utilidad en niños con deterioro hemodinámico grave. Por esto, se decide llevar a cabo un estudio prospectivo que valore la utilidad clínica del sistema PiCCO[®] en pacientes pediátricos con *shock* establecido. En concreto, se registraron las complicaciones

relacionadas con el dispositivo, su capacidad de detectar el edema pulmonar así como la respuesta hemodinámica a la expansión volumétrica y a los fármacos vasoactivos.

Pacientes y métodos

Se diseñó un estudio analítico, prospectivo y multicéntrico en el ámbito de la Sociedad Española de Cuidados Intensivos Pediátricos, que su Comité de Estudios Multicéntricos aprobó. Se obtuvo consentimiento informado de los familiares.

Se incluyó a todos los pacientes entre un mes y 18 años de edad ingresados en cuidados intensivos que presentaran cuadro de *shock* de cualquier etiología. Se definió la situación de *shock* de acuerdo con los criterios de la Conferencia Internacional de Consenso para la Disfunción Hemodinámica en el *shock* séptico (presión sistólica $< p_5$ o menor de 2 desviaciones estándar para la edad, necesidad de fármacos vasoactivos para mantener ésta, o 2 de los siguientes: acidosis, lactacidemia, oliguria, relleno capilar enlentecido y gradiente térmico central y periférico)¹⁸. Se excluyó a los cardiopatas con *shunt* intracardiaco no resuelto. Se analizó a todos los pacientes pertenecientes a las unidades participantes que cumplieron los criterios de inclusión durante los 6 meses que duró el estudio. Un radiólogo pediátrico ajeno al estudio realizó el diagnóstico de edema pulmonar mediante informe escrito de la radiografía simple de tórax de acuerdo con los criterios generales habituales y que van desde el aumento de densidad perihiliar hasta el patrón alveolar bilateral.

En todos los pacientes se colocó un catéter PiCCO® en la arteria femoral. Se utilizó en el 63% de los casos el catéter de 4 Fr y 8 cm de longitud (niños de 10 a 80 kg) y el catéter de 3 Fr y 7 cm en el resto (niños de 3,8 a 14 kg). El lugar del acceso vascular venoso central fue yugular (60%), subclavia (20%) y femoral (20%). Se permitió utilizar tanto suero a temperatura ambiente como frío ($< 8^{\circ}\text{C}$) para realizar la termodilución. El personal médico a cargo del paciente decidió el tratamiento en cada momento sobre la base de la monitorización estándar (presión arterial invasiva, presión venosa central [PVC], saturación venosa central, diferencia arteriovenosa de oxígeno, diuresis, relleno capilar, diferencia de temperatura central y periférica, estado neurológico, lactato y equilibrio acidobásico). El personal de enfermería realizó las mediciones del sistema PiCCO® y los datos, que anotaron los autores, no estuvieron disponibles para el clínico responsable del paciente.

Se registraron los siguientes datos antes y después de las intervenciones terapéuticas señaladas: frecuencia cardíaca (FC), presión arterial (PA), CI (*cardiac index* 'índice cardíaco'), SVI, ITBI, EWLI, contractilidad ventricular (Dp/dt max), SVRI y SVV (*systolic volume variation* 'variación de volumen sistólico'). Se estudiaron separadamente 3 situaciones clínicas: a) expansión volumétrica de al menos 10 ml/kg; b) aumento de la dosis de fármacos vasoactivos (al menos 0,1 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ de adrenalina o noradrenalina o 5 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ de dopamina), y c) cambios terapéuticos dirigidos a disminuir la resistencia vascular (descenso de adrenalina o noradrenalina de 0,1 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ o 5 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ de dopamina o aumento de 5 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ de dobutamina o 1 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ de nitroprusiato).

Tras su registro en una base se exportaron los datos para su análisis estadístico mediante SPSS versión 13.0. Las variables cuantitativas se expresan como mediana, percentil 5 y percentil 95 según su distribución, debido al pequeño tamaño muestral, a excepción de las termodiluciones, que pueden considerarse que se aproximan a una distribución paramétrica y se describen con media e intervalo de confianza del 95%. Las variables cualitativas se describen como número absoluto o porcentaje. Para el análisis bivariado se utilizaron pruebas no paramétricas (test de la U de Mann-Whitney y test de Wilcoxon) y correlaciones lineales rho de Spearman en el caso de comparaciones de 2 variables cuantitativas.

Resultados

Cinco unidades participaron en el estudio, con un total de 35 pacientes: Hospital Bambino Gesu (12 pacientes), Hospital San Joan de Deu (9 pacientes), Hospital Cruces (7 pacientes), Hospital Central Asturias (6 pacientes) y Hospital Universitario de Santiago Compostela (un paciente). Se realizaron 120 termodiluciones en 35 pacientes desde noviembre de 2005 hasta abril de 2006. Todos los intentos de monitorización culminaron con éxito y no hubo fallos del sistema. La edad de los pacientes fue de 36 meses (2,6 a 156) y su peso fue de 15 kg (5,8 a 72); 5 pacientes pesaron menos de 10 kg. La etiología del *shock* fue séptica (37%), cardiogénica (26%), hipovolémica (20%) y neurogénica (17%). La estancia en la UCI fue de 10 días (3 a 30). La tasa de mortalidad fue del 17%, sin hallarse diferencias en función de la etiología del *shock*. Los catéteres arteriales permanecieron colocados una mediana de 48 h (2 a 163), sin que se detectaran complicaciones derivadas de éstos. El volumen de suero administrado para realizar las termodiluciones fue de 6,0 ml (0,7 a 11,3), y se empleó suero frío en el 53% de los procedimientos.

Se informó la presencia de edema pulmonar en 5 casos. Este grupo no presentó diferencias de peso o edad con el resto. En estos pacientes el EWLI fue de 20 ml/kg (0 a 40) en comparación con 13 ml/kg (13 a 28) en los que no presentaron edema radiológico ($p < 0,05$).

Se realizaron expansiones en 22 ocasiones en los diferentes tipos etiológicos de *shock*, excepto el cardiogénico, mediante el empleo de 10 ml/kg (0 a 29). Los resultados obtenidos en los parámetros hemodinámicos estándar y de PiCCO® se muestran en la *tabla 1*. En conjunto, el aumento de la precarga produjo un aumento significativo de PVC, PA, ITBI, CI, SVI, Dp/dt max y un descenso de FC y SVV. Las resistencias sistémicas no se alteraron. Se observó una correlación significativa entre el porcentaje de aumento de precarga medido mediante ITBI y el aumento del CI (coeficiente de correlación $[r] = 0,678$; $p = 0,001$). Tal correlación no se obtuvo para PVC y CI ($r = 0,061$; $p = 0,789$).

En otras 13 ocasiones el objeto de la intervención fue incrementar el inotropismo o el tono vasomotor. En tales casos, la PA media aumentó significativamente de 74 (53 a 99) a 87 mmHg (59 a 112) ($p < 0,05$). Los cambios en la contractilidad (Dp/dt max) aumentaron de 940 (491 a 1.489) a 1.140 mmHg/s (590 a 1.491) ($p = 0,11$) y en las resistencias (SVRI) de 1.399 (930 a 2.623) a 1.467 dyns/cm⁵/m².

Tabla 1 Resultados de la expansión volumétrica (n = 22)

	Mediana [P ₅ -P ₉₅]	p
Pre-FC, lpm	125 [58-173]	0,032
Post-FC, lpm	117 [52,164]	
Pre-PAM, mmHg	74 [53-99]	0,001
Post-PAM, mmHg	87 [59-112]	
Pre-PVC, mmHg	5 [2-9]	0,000
Post-PVC, mmHg	9 [7-11]	
Pre-CI, l/min/m ²	4,04 [2,58-6,25]	0,001
Post-CI, l/min/m ²	4,48 [2,86-8,71]	
Pre-SVI, ml/m ²	33 [17-58]	0,001
Post-SVI, ml/m ²	40 [24-73]	
Pre-DP/dt max, mmHg/s	940 [491-1.489]	0,04
Post-DP/dt max, mmHg/s	1.140 [590-1.491]	
Pre-ITBI, ml/m ²	501 [235-763]	0,001
Post-ITBI, ml/m ²	584 [418-810]	
Pre-SVV, %	12 [5-43]	0,012
Post-SVV, %	10 [3-21]	
Pre-SVRI, dyns/cm ⁵ /m ²	1.399 [930-2.623]	0,485
Post-SVRI, dyns/cm ⁵ /m ²	1.467 [1.005-2.224]	

CI: *cardiac index* 'índice cardíaco'; DP/dt max: contractilidad; FC: frecuencia cardíaca; ITBI: *intrathoracic blood volume index* 'índice de volumen de sangre intratorácico'; P: percentil; PAM: presión arterial media; PVC: presión venosa central; SVI: *systolic volumen index* 'índice de volumen sistólico'; SVRI: *systemic vascular resistance index* 'índice de resistencia vascular sistémica'; SVV: *systolic volume variation* 'variación de volumen sistólico'.

(1.005 a 2.224) (p = 0,06), pero no alcanzaron significación estadística.

En las 12 ocasiones en que se cambió el tratamiento con el objeto de disminuir el tono vascular tampoco se obtuvo una variación significativa del SVRI (de 1.421 [900 a 4.028] a 1.471 dyns/cm⁵/m² [688 a 2.201]) (p = 0,11).

Discusión

El *shock* es una situación frecuente en los niños críticamente enfermos que requiere de una gran experiencia para su abordaje, así como de una monitorización continua. Para obtener parámetros hemodinámicos exactos son precisos medios invasivos, como el catéter situado en la arteria pulmonar. Sin embargo, su inserción y su mantenimiento son dificultosos en niños y pueden ocasionar serias complicaciones en este grupo de edad. Por esto, se precisan nuevos métodos de monitorización hemodinámica que resulten seguros, precisos y que consigan modificar favorablemente la evolución de los pacientes.

El sistema PiCCO[®] permite medir de forma intermitente el CI, el volumen sistólico y los volúmenes de llenado mediante la técnica de termodilución de un sólo indicador de acuerdo con la ecuación de Stewart-Hamilton¹⁹, y permite medir de forma continua del GC mediante la utilización del análisis de la onda de pulso^{20,21} basándose en un algoritmo desarrollado por Wesseling et al²².

El dispositivo se presenta como fiable y menos invasivo, lo que podría hacerlo útil en niños e incluso lactantes. En este sentido, este estudio preliminar indica que la técnica es fácil de usar y utilizable en niños inestables, incluso aquéllos en situación de *shock* séptico. Es destacable el éxito que alcanzó en todas las ocasiones en que se intentó utilizar el dispositivo y la ausencia de complicaciones en relación con su uso, si bien el número de pacientes menores a 10 kg es pequeño. Aunque se ha comunicado la posibilidad de trombosis arterial e isquemia de la extremidad de forma aislada²³ y en un caso en una serie de 16 pacientes²⁴, no se ha observado tal complicación en los 35 pacientes monitorizados durante un período de incluso 10 días. Se podría especular que es el tamaño del catéter el factor determinante. Se ha usado el de 3 Fr para los lactantes de menos de 10 kg y los de 4 Fr para los mayores de 14 kg, lo que dio la posibilidad de usar uno u otro tamaño entre los lactantes de 10 y 14 kg.

Los resultados de la expansión de volumen son destacables. Al haberse pautado de acuerdo con los criterios clásicos en relación con las PVC bajas, es lógico haber obtenido un incremento tensional y un descenso de la FC según la ley de Frank-Starling. De todas formas, también se demuestra cómo el incremento del ITBI se asocia al del SVI, CI y la contractilidad y a una reducción del SVV.

Además, la significativa correlación entre el porcentaje de aumento del ITBI y el CI es destacable. Los hallazgos coinciden con resultados obtenidos en adultos^{25,26} y en experimentación animal²⁷, que indican que el ITBI es un parámetro fiable para conocer el estado volumétrico. Schiffmann et al encontraron una correlación entre SVI e ITBI en 8 pacientes prematuros críticamente enfermos²⁸. Del mismo modo, Cecchetti et al han señalado el valor de los parámetros de precarga en niños^{29,30}. En cuanto a la ausencia de correlación hallada para la PVC, sólo fundamentaría la ya conocida inexistencia de una relación lineal, pero no su inutilidad. La eficacia de protocolos de tratamiento clínico basados en PVC recomendarían no desbancarla antes de confirmar la superioridad de nuevas determinaciones³¹.

En cuanto al valor del dispositivo para monitorizar el tono vascular sistémico, el limitado número de pacientes no permite extraer conclusiones. No obstante, se cree que hay un valor clínico en que las intervenciones destinadas a incrementar la vasopresión se traducen en un incremento del SVRI del 18% y en que los tratamientos vasodilatadores producen un descenso del SVRI del 17%.

Respecto al agua extravascular pulmonar, si bien se obtuvo una diferencia significativa en el EWLI entre los niños con edema pulmonar y el resto, se considera que los resultados han de valorarse con cautela debido al escaso número de pacientes y a su heterogeneidad. En este sentido, se debe recordar cómo la validez del algoritmo diseñado para obtener los valores de EWLI ha sido ya cuestionada en estudios previos³² así como sus valores de referencia pediátricos³³.

Este estudio presenta algunas limitaciones. El reducido número de pacientes y de mediciones realizadas es escaso para obtener conclusiones firmes. Estos pacientes no son un grupo homogéneo en cuanto a edad, situación clínica ni tipo de *shock* y, además, se trataron en 5 UCI diferentes. Aun así, los resultados indican que merece la pena realizar nuevas investigaciones.

En resumen, este estudio preliminar indica que el sistema PiCCO® puede ser útil en el tratamiento de los niños críticos con alteración hemodinámica. Este dispositivo ofrece información sobre parámetros que sólo se podrían obtener mediante métodos invasivos más agresivos. Estos datos son coherentes con los parámetros hemodinámicos clásicos y además aportan mayor información. Son necesarios ensayos clínicos con un mayor número de pacientes en situaciones más homogéneas para confirmar la utilidad de esta técnica como guía terapéutica en situaciones de *shock* en el niño.

Agradecimiento

A Agueda Azpeitia por su imprescindible colaboración en el análisis estadístico de los datos.

Bibliografía

- Dellinger RP, Carlet JM, Masur H, Gerlach H, Calandra T, Cohen J, et al. Surviving sepsis campaign guidelines for management of severe sepsis and septic shock. *Crit Care Med.* 2004;32:858-71.
- Ivanov R, Allen J, Sandham D, Calvin JE. Pulmonary artery catheterization: A narrative and systematic critique of randomized controlled trials and recommendations for the future. *New Horiz.* 1997;5:268-76.
- Ivanov R, Allen J, Calvin JE. The incidence of major morbidity in critically ill patients managed with pulmonary artery catheters: A meta-analysis. *Crit Care Med.* 2000;28:615-9.
- Connors AF, Speroff T, Dawson NV, Thomas C, Harrell Jr FE, Wagner D, et al. The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. *JAMA.* 1996;276:889-97.
- Rhodes A, Grounds RM. New technologies for measuring cardiac output: The future?. *Curr Opin Crit Care.* 2005;11:224-6.
- Harvey S, Stevens K, Harrison D, Young D, Brampton W, McCabe C, et al. An evaluation of the clinical and cost-effectiveness of pulmonary artery catheters in patient management in intensive care: A systematic review and a randomised controlled trial. *Health Technol Assess.* 2006;10:1-133.
- Chaney JC, Derdak S. Minimally invasive hemodynamic monitoring for the intensivist: Current and emerging technology. *Crit Care Med.* 2002;30:2338-45.
- Rupérez M, López-Herce J, García C, Sánchez C, García E, Vigil D, et al. Comparison between cardiac output measured by the pulmonary arterial thermodilution technique and that measured by the femoral arterial thermodilution technique in a pediatric animal model. *Pediatr Cardiol.* 2004;25:119-23.
- Piehl MD, Manning JE, McCurdy SL, Rhue TS, Kocis KC, Cairns CB, et al. Pulse contour cardiac output analysis in a piglet model of severe hemorrhagic shock. *Crit Care Med.* 2008;36:1189-95.
- Lemson J, De Boode WP, Hopman JC, Singh SK, Van der Hoeven JG. Validation of transpulmonary thermodilution cardiac output measurement in a pediatric animal model. *Pediatr Crit Care Med.* 2008;9:313-9.
- Godje O, Peyerl M, Seebauer T, Dewald O, Reichart B. Reproducibility of double indicator dilution measurements of intrathoracic blood volume compartments, extravascular lung water, and liver function. *Chest.* 1998;113:1070-7.
- Sakka SG, Reinhart K, Meier-Hellmann A. Comparison of pulmonary artery and arterial thermodilution cardiac output in critically ill patients. *Intensive Care Med.* 1999;25:843-6.
- Goedje O, Hoeke K, Lichtwarck-Aschoff M, Falchauer A, Lamm P, Reichart TB. Continuous cardiac output by femoral arterial thermodilution calibrated pulse contour analysis: Comparison with pulmonary arterial thermodilution. *Crit Care Med.* 1999;27:2407-12.
- Tibby SM, Hatherill M, Marsh MJ, Morrison G, Anderson D, Murdoch IA. Clinical validation of cardiac output measurements using femoral artery thermodilution with direct Fick in ventilated children and infants. *Intensive Care Med.* 1997;23:987-91.
- Fakler U, Pauli Ch, Balling G, Lorenz HP, Eicken A, Hennig M, et al. Cardiac index monitoring by pulse contour analysis and thermodilution after pediatric cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2007;133:224-8.
- Pauli C, Fakler U, Genz T, Hennig M, Lorenz HP, Hess J. Cardiac output determination in children: Equivalence of the transpulmonary thermodilution method to the direct Fick principle. *Intensive Care Med.* 2002;28:947-52.
- Kim JJ, Dreyer WJ, Chang AC, Breinholt III JP, Grifka RG. Arterial pulse wave analysis: An accurate means of determining cardiac output in children. *Pediatr Crit Care Med.* 2006;7:532-5.
- Goldstein B, Giroir B, Randolph A, Members of the International Consensus Conference on Pediatric Sepsis. International pediatric sepsis consensus conference: Definitions for sepsis and organ dysfunction in pediatrics. *Pediatr Crit Care Med.* 2005;6:2-8.
- Francis DB, Hu KC. An algorithm for the automated determination of cardiac output by the Stewart-Hamilton method. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1977;24:482-4.
- Brock-Utne JG, Blake GT, Bosenberg AT, Gaffin SL, Humphrey D, Downing JW. An evaluation of the pulse-contour method of measuring cardiac output. *S Afr Med J.* 1984;66:451-3.
- Goedje O, Hoke K, Fischlein T, Vetter H, Reichart B. Less invasive, continuous cardiac output measurement through pulse contour analysis versus conventional thermal dilution. *Intensive Care Med.* 1996;22:558.
- Wesseling KM, De Wit B, Weder JAP, Smith NT. A simple device for the continuous measurement of cardiac output. *Adv Cardiovasc Phys.* 1983;5:16-52.
- Borrego R, López-Herce J, Mencia S, Carrillo A, Sancho L, Bustinza A. Severe ischemia of the lower limb and of the intestine associated with systemic vasoconstrictor therapy and femoral arterial catheterization. *Pediatr Crit Care Med.* 2006;7:267-9.
- Egan JR, Festa M, Cole AD, Nunn GR, Gillis J, Winlaw DS. Clinical assessment of cardiac performance in infants and children following cardiac surgery. *Intensive Care Med.* 2005;31:568-73.
- Richard F, Alaya S, Zarka V, Bahloul M, Richard C, Teboul JL. Global end-diastolic volume as an indicator of cardiac preload in patients with septic shock. *Chest.* 2003;124:1900-8.
- Marx G, Cope T, McCrossan L, Swaraj S, Cowan C, Mostafa SM, et al. Assessing fluid responsiveness by stroke volume variation in mechanically ventilated patients with severe sepsis. *Eur J Anaesthesiol.* 2004;21:132-8.
- López-Herce J, Rupérez M, Sánchez C, García C, García E. Haemodynamic response to acute hypovolaemia, rapid blood volume expansion and adrenaline administration in an infant animal model. *Resuscitation.* 2006;68:259-65.
- Schiffmann H, Erdlenbruch B, Singer D, Singer S, Herting E, Hoeft A, et al. Assessment of cardiac output, intravascular volume status, and extravascular lung water by transpulmonary indicator dilution in critically ill neonates and infants. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2002;16:592-7.
- Cecchetti C, Stoppa F, Vanacore N, Barbieri MA, Raucchi U, Pasotti E, et al. Monitoring of intrathoracic volemia and cardiac output in critically ill children. *Minerva Anesthesiol.* 2003;69:907-18.
- Cecchetti C, Lubrano R, Cristaldi S, Stoppa F, Barbieri MA, Masciangelo R, et al. Relationship between global end-diastolic volume and cardiac output in critically ill infants and children. *Crit Care Med.* 2008;36:928-32.

31. Modesto I, Alapont V, Cuestas E, Buñuel Álvarez JC. ¿Puede actualmente cuestionarse la utilidad clínica de la presión venosa central? *Evid Pediatr.* 2008;4:79.
32. Faybik P, Hetz H, Baker A, Yankovskaya E, Krenn CG, Steltzer H. Iced versus room temperature injectate for assessment of cardiac output, intrathoracic blood volume, and extravascular lung water by single transpulmonary thermodilution. *J Crit Care.* 2004;19:103–7.
33. López-Herce J, Rupérez M, Sánchez C, García C, García E. Estimation of the parameters of cardiac function and of blood volume by arterial thermodilution in an infant animal model. *Pediatric Anesthesia.* 2006;16:635–40.