

Reanimación con cardiocompresores: comparación de los efectos hemodinámicos entre LUCAS y AutoPulse en un modelo porcino

MARÍA JOSÉ CARRETERO CASADO¹, JAUME FONTANALS¹, MARÍA JOSÉ ARGUIS¹, JULIA MARTÍNEZ-OCÓN¹, ANA RUIZ, JOSÉ RÍOS²

¹Departamento de Anestesiología, Hospital Clínic, Barcelona, España. ²Laboratorio de Bioestadística y Epidemiología, Universidad Autónoma de Barcelona, Unidad de Estadística y Metodología, IDIBAPS, Hospital Clínic, Barcelona, España.

CORRESPONDENCIA:

M^a José Carretero Casado
Departamento de
Anestesiología
Hospital Clínic
C/ Villarroel, 170
08036 Barcelona, España
E-mail: carreter@clinic.ub.es

FECHA DE RECEPCIÓN:

8-10-2013

FECHA DE ACEPTACIÓN:

18-1-2014

CONFLICTO DE INTERESES:

Los autores declaran no tener conflictos de interés en relación al presente artículo.

Antecedentes: El gasto cardíaco (GC) producido por las compresiones torácicas durante las maniobras de resucitación puede predecir la efectividad y un buen resultado final. Durante las compresiones torácicas manuales, el flujo sanguíneo a los órganos vitales está generalmente disminuido porque las compresiones torácicas manuales son significativamente de más baja calidad que las recomendadas por las guías internacionales de reanimación. Además, las compresiones torácicas efectivas durante el transporte son a menudo difíciles. Los dispositivos automáticos fueron diseñados para mejorar la reanimación cardiopulmonar, y algunos han mostrado beneficios hemodinámicos y de resultados a corto plazo. Sin embargo, no han sido realizados estudios comparativos entre ellos. Nuestro estudio compara los dispositivos LUCAS y AutoPulse.

Método: El estudio se basó en un diseño experimental realizado con 24 cerdos Yorkshire. Las variables hemodinámicas y el CO₂ al final de la espiración se midieron en posición supina. Los resultados se compararon entre los grupos. Los parámetros hemodinámicos fueron analizados longitudinalmente usando un modelo lineal general.

Resultados: Durante el seguimiento, el GC y el CO₂ al final de la espiración fueron significativamente diferentes ($p < 0,001$) y ambos más altos en el grupo LUCAS. No hubo diferencias significativas en la presión arterial media ($p = 0,121$) o la presión de perfusión coronaria ($p = 0,690$) entre los grupos.

Conclusiones: Los dispositivos LUCAS y AutoPulse fueron efectivos en producir y mantener suficiente GC y presión de perfusión coronaria. Este estudio sugiere que el dispositivo LUCAS puede ser superior al AutoPulse en términos de GC y CO₂ al final de la espiración. No se encontraron diferencias en la presión de perfusión coronaria. [Emergencias 2014;26:459-463]

Palabras clave: Reanimación cardiopulmonar. Hemodinámicos. Gasto cardíaco. Dispositivos automáticos.

Introducción

La tasa de supervivencia de la parada cardiorespiratoria (PCR) extrahospitalaria registrada en EEUU es del 5% a 15%¹. La fibrilación ventricular (FV) explica menos de la mitad de los casos y respondería a desfibrilación precoz^{1,2}. Cuando la desfibrilación ha fallado o la PCR no está asociada con FV, la supervivencia depende de la cantidad de flujo sanguíneo conseguida durante la reanimación cardiopulmonar (RCP). En particular, la perfusión del corazón y la cerebral deben ser ade-

cuadas para el retorno a la circulación espontánea (RCE) y la supervivencia con un buen pronóstico neurológico. La RCE depende directamente de la presión de perfusión coronaria (PPC).

El Consejo de Reanimación Europeo y la Asociación Americana del Corazón revisaron las guías de RCP en 2005 y 2010, resaltando la importancia de las compresiones torácicas (CT)³; sin embargo, la calidad de la RCP manual, incluso cuando es realizada por personal médico, es significativamente más baja que la recomendada en las guías de RCP⁴ internacionales, y el flujo san-

guíneo que llega a los órganos vitales es generalmente menor⁵.

Varios dispositivos mecánicos para CT automáticas han sido desarrollados para optimizar la RCP, pero la mayoría de ellos tienen limitaciones operacionales⁶. El Lund University Cardiac Arrest System (LUCAS; Jolife, Lund, Sweden) y el AutoPulse (Revivant Corporation, Sunnyvale, CA, USA) son dos dispositivos relativamente nuevos que son fáciles de usar y han demostrado su efectividad. Este estudio pretende comparar estos dos dispositivos según parámetros hemodinámicos en un modelo experimental de PCR.

Método

En el estudio se usaron veinticuatro cerdos Yorkshire, cuidados y tratados conforme a la *Guía para el cuidado y el uso de animales de laboratorio* (ILAR, 1996). El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Barcelona.

La alimentación se suspendió 12 horas antes del estudio, y los animales fueron premedicados con azaperone 10 mg/kg por vía intramuscular (im). Se les canuló una vena periférica de la oreja y se anestesiaron con pentobarbital 10 mg/kg por vía intravenosa (iv), seguido de intubación orotraqueal y ventilación mecánica. La ventilación minuto con O₂ al 100% era ajustada mediante cambios del volumen corriente para lograr un EtCO₂ de 35 a 45 mmHg. La anestesia se mantuvo con pentobarbital iv y vecuronio iv para lograr la parálisis muscular total (15-20 mg). Los animales se colocaron en posición supina y se les administró 4 ml/kg/h de suero salino normal iv.

Se empleó una monitorización electrocardiográfica de tres derivaciones. Para la monitorización continua de la presión aórtica, se colocó un catéter (16G, Arrow®) vía disección del cuello e inserción directa en la arteria carótida derecha. Para la inducción de FV se utilizó un catéter electrodo de marcapasos (5F, BiosenseWebster, Johnson and Johnson) y para la monitorización hemodinámica se insertó un catéter en la arteria pulmonar dirigido por flujo (Swan-Ganz 7F, Arrow®) a través de la vena yugular interna derecha.

Las variables hemodinámicas fueron: presión arterial media (PAM), presión arterial sistólica y diastólica, presión venosa central (PVC), presión en arterial pulmonar, PPC (presión aórtica diastólica menos presión en aurícula derecha -PVC-) y EtCO₂ se registraron como muestra basal inmediatamente antes de que la PCR fuera inducida.

El gasto cardiaco (GC) fue medido usando la media de tres cálculos consecutivos de GC medidos por termodilución (GCTD). Las medidas de GCTD que diferían en más del 20% fueron excluidas. La FV era inducida mediante la aplicación de una descarga de corriente alterna administrada por el electrodo de marcapasos. Se detenía la ventilación y se instalaban los dispositivos durante el periodo de PCR no tratada.

Los cerdos se randomizaron en dos grupos de doce animales cada uno, que recibieron CT con uno de los dos dispositivos: grupos LUCAS o AutoPulse. Cada grupo se dividió a su vez en dos subgrupos (n = 6) de acuerdo con la situación basal: 5 o 15 min de PCR no tratada antes de empezar la reanimación. Las CT fueron realizadas por LUCAS o AutoPulse (100 y 80 CT/min, respectivamente) y la ventilación fue restablecida. No se administró ni desfibrilación ni ningún otro fármaco más que anestésicos. La RCP se continuó durante 45 min.

Las variables hemodinámicas, PPC y EtCO₂ fueron medidas antes de la FV (línea basal T₀) y 5, 15, 30 y 45 min después de empezar las CT (T₅, T₁₅, T₃₀, T₄₅). Las CT se detuvieron después de 45 min.

Las variables cuantitativas se expresaron como mediana y rango intercuartílico (RIC, P25-P75) y se analizaron longitudinalmente mediante un modelo lineal usando la metodología de ecuación de estimación general, para considerar las correlaciones de seguimiento intrasujeto para cada animal. Debido al tamaño de la muestra, se empleó una aproximación no paramétrica sobre la base de la transformación para variables dependientes antes de aplicar los modelos estadísticos. Se usaron dos modelos, uno para descartar cualquier efecto de interacción entre grupos experimentales con situación basal diferente (tiempo de PCR no tratada) y otro para descartar cualquier posible influencia de la situación basal sobre la estimación de efecto de grupo. Finalmente, se usó un modelo de seguimiento con efecto solo de grupo (LUCAS *versus* AutoPulse) para estimar la significación estadística. Los datos se analizaron usando el paquete estadístico SPSS 15.0, y se consideró estadísticamente significativa una $p \leq 0,05$.

Resultados

Todos los animales se incluyeron en el análisis del estudio. No hubo diferencias entre los grupos de PCR no tratadas 5 y 15 min (Tabla 1) y, por tanto, esta variable no se diferenció en el análisis final.

Tabla 1. Resultados descriptivos

		Seguimiento (minutos)				
		0	5	15	30	45
Presión arterial	GA	68 (62; 73)	24,5 (20,15; 33,5)	25,5 (19; 28)	13,5 (12; 17)	12,5 (10,5; 15,5)
	GL	63 (56,65; 73,5)	27,5 (22,5; 41)	24,8 (20,8; 31,5)	18,5 (15; 26)	14,5 (12,5; 22,3)
	Grupo ¹ Seguimiento ² Anterior ³	0,121 < 0,001 0,602				
Presión de perfusión coronaria	GA	57 (54,5; 65)	18 (9,15; 27,5)	17,5 (8; 19)	6 (2; 9)	4 (1; 8)
	GL	49 (42,15; 63)	17,3 (12,5; 24)	14,8 (8,3; 18,5)	10,8 (2,5; 12,5)	4,15 (0; 12,3)
	Grupo ¹ Seguimiento ² Anterior ³	0,690 < 0,001 0,378				
Gasto cardiaco	GA	2,3 (1,75; 2,65)	0,47 (0,37; 0,64)	0,45 (0,38; 0,55)	0,37 (0,31; 0,45)	0,29 (0; 0,4)
	GL	3 (2,45; 3,45)	0,69 (0,53; 0,95)	0,64 (0,55; 0,8)	0,5 (0,45; 0,67)	0,49 (0,38; 0,59)
	Grupo ¹ Seguimiento ² Anterior ³	< 0,001 < 0,001 0,058				
EtCO ₂	GA	40,5 (32; 45)	17,5 (15,5; 24)	19 (16; 21)	8 (4; 13,5)	1 (0; 8,5)
	GL	42,5 (40; 47)	26 (21,5; 34,5)	27,5 (23; 32,5)	21 (16,5; 29,5)	20 (16; 25)
	Grupo ¹ Seguimiento ² Anterior ³	< 0,001 < 0,001 0,557				

GA: Grupo AutoPulse; GL: Grupo LUCAS; ¹Comparación entre Grupo: LUCAS vs AutoPulse. ²Comparación a lo largo del seguimiento: 0, 5, 15, 30 y 45 minutos de intervención. ³Comparación entre: 5-10 minutos sin tratamiento. Los resultados descriptivos se expresan como media (P25; P75). Los valores de p se obtuvieron usando enfoques no paramétricos con los modelos longitudinales (GEE).

1 y 2: Modelo final: $y = \mu + \text{Grupo} + \text{Seguimiento}$.

3: Modelo sin interacción: $y = \mu + \text{Grupo} + \text{Seguimiento} + \text{Anterior}$. El grupo de no interacción anterior fue observado en el modelo $y = \mu + \text{Grupo} + \text{Seguimiento} + \text{Anterior} + \text{Grupo anterior}$ de las variables de todos los estudios.

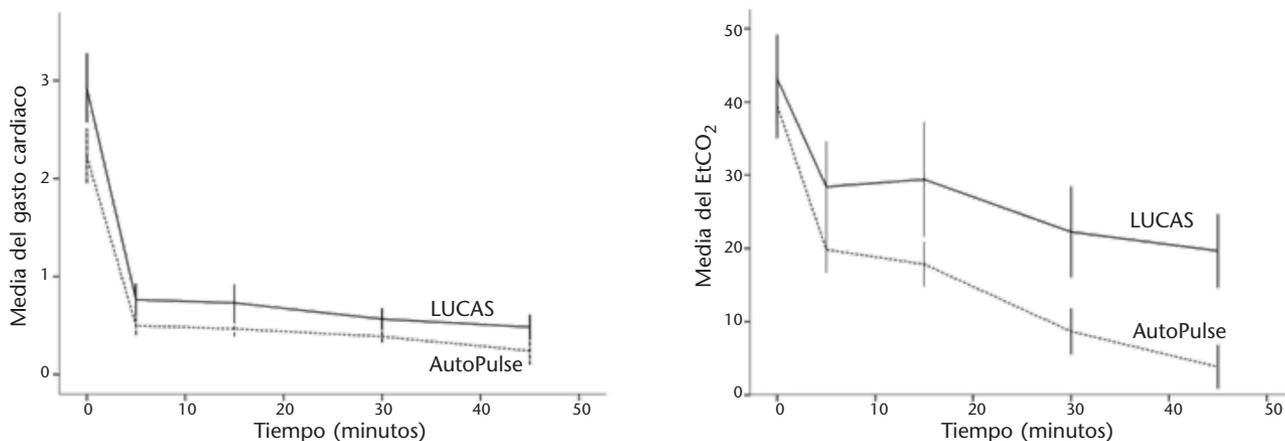
El análisis de datos mostró diferencias significativas en GC y EtCO₂ entre los grupos. El análisis mostraba que LUCAS conseguía valores más altos de GC y EtCO₂ que AutoPulse ($p < 0,001$) (Figura 1). No hubo diferencias significativas en PAM ($p = 0,121$) o PPC ($p = 0,690$) entre los grupos.

Discusión

Nuestros resultados muestran que ambos dispositivos, LUCAS y AutoPulse, son efectivos en generar un adecuado GC y PPC. LUCAS obtuvo un

GC y unos valores de EtCO₂ significativamente más altos que AutoPulse, aunque no hubo diferencias significativas ni en la PAM ni en la PPC.

Varias técnicas de RCP han sido desarrolladas para mejorar las CT, pero no han mostrado clara superioridad sobre la RCP manual y tienen limitaciones operacionales que limitan su uso⁶. LUCAS es un dispositivo impulsado por gas o por una batería que proporciona compresiones mecánicas automáticas y descompresión activa usando una ventosa de goma de silicona. Estudios dirigidos a comparar LUCAS con RCP manual en modelos experimentales y en PCR extrahospitalaria han mos-


Figura 1. Representación gráfica del gasto cardiaco y EtCO₂.

trado que varias variables tienden a ser superiores en LUCAS comparadas a CT manuales⁶⁻⁸.

AutoPulse es una banda integrada en torno de un respaldo que usa un motor para retraer la banda alrededor del pecho. AutoPulse ha mejorado también valores hemodinámicos en varios estudios, pero no ha mostrado una tasa de supervivencia más alta que la RCP manual^{1,2,9,10}.

Otros beneficios adicionales ofrecidos por estos dispositivos incluyen la posibilidad de transportar pacientes mientras se mantiene una RCP de adecuada calidad⁵. El GC constante producido podría ser también de valor en maniobras de reanimación de larga duración o en el traslado de potenciales donantes a corazón parado.

Dos trabajos, LINC (*LUCAS in Cardiac Arrest*) y CIRC (*Circulation improving Resuscitation Care*)^{11,12}, han sido realizados recientemente para comparar RCP manual con LUCAS y AutoPulse, respectivamente. Con respecto al estudio LINC, se concluyó que el uso de LUCAS en la PCR extrahospitalaria en comparación con la reanimación manual no presentaba diferencias significativas con respecto a la supervivencia a las 4 horas ni con el pronóstico neurológico¹¹. Por otro lado, el estudio CIRC que comparaba AutoPulse con reanimación manual también obtuvo los mismos resultados en cuanto a supervivencia al alta hospitalaria en adultos con PCR extrahospitalaria¹².

Nuestro estudio es el primero en comparar LUCAS con AutoPulse y ha encontrado que ambos dispositivos son efectivos en mantener adecuadas PAM y PPC. Nuestros datos sugieren que LUCAS puede producir un GC más alto que AutoPulse y podría, por tanto, ser considerado superior. Los valores de PPC son predictivos para una RCP exitosa, y han mostrado que solo los pacientes con PPC igual o inferior a 15 mmHg tuvieron RCE¹³. En un modelo experimental, Reynolds *et al.* concluyeron que la PPC requerida para lograr RCE era significativamente más alta, de 35 a 40 mmHg, que la previamente comunicada y a menudo citada estimación de 15 a 25 mmHg¹⁴.

En nuestro estudio, es reseñable que la PPC cayó por debajo de 15 mmHg en ambos grupos después de 15 min de reanimación. Esto sugiere que las maniobras de reanimación son menos efectivas pasado ese tiempo (Tabla 1).

Por otra parte la EtCO₂ ha mostrado correlación con el índice cardiaco para predecir el RCE. Los valores de EtCO₂ presentan una correlación lineal con el índice cardiaco. Kolar *et al.* encontraron que valores de EtCO₂ por encima de 14,3 mmHg después de 20 min de reanimación identificaban a pacientes con RCE. Ningún paciente con

EtCO₂ inicial por debajo de 10 mmHg se reanimó. Los valores de EtCO₂ deberían ser monitorizados durante la RCP y usados para predecir la no supervivencia de pacientes⁷. Un alto valor de EtCO₂ es un predictor independiente de alta hospitalaria en pacientes atendidos por parada cardiaca extrahospitalaria⁷.

En nuestro estudio, el grupo LUCAS obtuvo valores de EtCO₂ por encima de 15 mmHg a lo largo de los 45 min de RCP, mientras que AutoPulse mantuvo tales niveles sólo los primeros 15 min, sugiriendo que LUCAS puede ser superior a AutoPulse (Tabla 1).

Como estudio experimental, nuestro trabajo tuvo varias limitaciones. En particular los cerdos tienen una diferente forma de tórax que podría afectar a la efectividad del dispositivo. Nosotros usamos cerdos con peso de 20 a 22 kg porque el diámetro torácico anteroposterior es más próximo al de un humano adulto de tamaño medio y se comporta de forma más parecida durante la reanimación⁶. Otra limitación es que nosotros medimos el GC mediante un catéter en la arteria pulmonar y consideramos el método de termodilución como patrón de referencia (*gold standard*). No obstante, usamos este método porque es considerado el patrón de referencia en la mayoría de los estudios¹⁵. En nuestro protocolo experimental los cerdos permanecen 5 o 15 minutos sin recibir maniobras de resucitación después de inducir FV para simular una PCR no atendida y disminuir la posibilidad de RCE. Además usamos dosis intermitentes de pentobarbital que podrían haber afectado al GC. No obstante, éstas eran dadas en ambos grupos y probablemente no afectaron los resultados.

En conclusión, los dispositivos LUCAS y AutoPulse fueron efectivos para las maniobras de reanimación y no mostraron diferencias tanto en PAM como en PPC. LUCAS generó un GC y una EtCO₂ más altos que AutoPulse durante la reanimación en nuestro modelo porcino. La pregunta de si dispositivos de RCP automáticos pueden incrementar el RCE y la tasa de supervivencia o mejorar la recuperación neurológica de los pacientes reanimados es controvertida, actualmente los estudio realizados muestran que no existen diferencias significativas en cuanto a la supervivencia.

Bibliografía

- Halperin HR, Paradis N, Ornato JP, Zviman M, Lacorte J, Lardo A, et al. Cardiopulmonary resuscitation with a novel chest compression device in a porcine model of cardiac arrest. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:2214-20.

- 2 Ikeno F, Kaneda H, Hongo Y, Sakanoue Y, Nolasco C, Emami S, et al. Augmentation of tissue perfusion by a novel compression device increases neurologically intact survival in a porcine model of prolonged cardiac arrest. *Resuscitation*. 2006;68:109-18.
- 3 Handley AJ, Koster R, Monsieurs K, Perkins GD, Davies S, Bossaert L; European Resuscitation Council. European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 2. Adult basic life support and use of automated external defibrillators. *Resuscitation*. 2005;67:57-23.
- 4 Wu JY, Li CS, Liu ZX, Wu CJ, Zhang GC. A comparison of 2 types of chest compressions in a porcine of cardiac arrest. *Am J Emerg Med*. 2009;27:823-9.
- 5 Krep H, Mamier M, Breil M, Heister U, Fischer M, Hoeft A. Out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation with the AutoPulse system: a prospective observational study with a new load-distributing band chest compression device. *Resuscitation*. 2007;73:86-95.
- 6 Steen S, Liao Q, Pierre L, Paskevicius A, Sjöberg T. Evaluation of LUCAS, a new device for automatic mechanical compression and active decompression resuscitation. *Resuscitation*. 2002;55:285-99.
- 7 Kolar M, Krizmaric M, Klemen P, Grmec S. Partial pressure of end-tidal carbon dioxide successfully predicts cardiopulmonary resuscitation in the field: a prospective observational study. *Crit Care*. 2008;12:R115.
- 8 Axelsson C, Karlsson T, Axelsson AB. Mechanical active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation (ACD-CPR) versus manual CPR according to pressure of end tidal carbon dioxide (P(ET)CO₂) during CPR in out-of-hospital cardiac arrest (OHCA). *Resuscitation*. 2009;80:1099-103.
- 9 Mark Swanson, Michael Poniatowski, Mark O'Keefe and Peter Springer. A CPR Assist Device Increased Emergency Department Admission and End Tidal Carbon Dioxide Partial Pressures during Treatment of Out of Hospital Cardiac Arrest. *Circulation*. 2007;114:II_554.
- 10 Timerman S, Cardoso LF, Ramires JA, Halperin H. Improved hemodynamic performance with a novel chest compression device during treatment of in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2004;61:273-80.
- 11 Rubertsson S, Lindgren E, Smekal D, Östlund O, Silfverstolpe J, Lichtveld RA, et al. Mechanical Chest Compressions and Simultaneous Defibrillation vs Conventional Cardiopulmonary Resuscitation in Out-of-Hospital Cardiac Arrest *JAMA*. 2014;311:53-61.
- 12 Wik L, Olsen JA, Persse D, Sterz F, Lozano M Jr, Brouwer MA, et al. Manual vs. integrated automatic load-distributing band CPR with equal survival after out of hospital cardiac arrest. The randomized CIRC trial. *Resuscitation*. 2014;85:741-8.
- 13 Paradis NA, Martin GB, Rivers EP, Goetting MG, Appleton TJ, Feingold M, et al. Coronary perfusion pressure and the return of spontaneous circulation in human cardiopulmonary resuscitation. *JAMA*. 1990;263:1106-13.
- 14 Reynolds JC, Salcido DD, Menegazzi JJ. Coronary perfusion pressure and return of spontaneous circulation after prolonged cardiac arrest. *Prehosp Emerg Care*. 2010;14:78-84.
- 15 Botero M, Kirby D, Lobato EB, Staples ED, Gravenstein N. Measurement of cardiac output before and after cardiopulmonary bypass: Comparison among aortic transit-time ultrasound, thermodilution, and noninvasive partial CO₂ rebreathing. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2004;18:563-72.

Resuscitation with the LUCAS and AutoPulse automated chest compression devices: comparison of hemodynamic variables in a porcine model

Carretero Casado MJ, Fontanals J, Arguis MJ, Martínez-Ocón J, Ruiz A, Ríos J

Background and objective: Cardiac output generated from chest compressions during resuscitation maneuvers can predict effectiveness and successful outcome. During manual chest compressions, blood flow to vital organs is generally impaired because the quality of manual chest compressions is significantly inferior to that recommended by international resuscitation guidelines. Furthermore, it is difficult to perform effective chest compressions during transport. Automated devices have been designed to improve cardiopulmonary resuscitation and some have been shown to improve haemodynamics and short term outcome. No comparative studies have been done. In this study we aimed to compare the LUCAS and AutoPulse devices.

Methods: Experimental study in 24 Yorkshire pigs. Hemodynamic variables and end-tidal carbon dioxide (ETCO₂) were recorded during a period of resuscitation in supine position. These variables were compared between device groups. Hemodynamic variables were analyzed by means a general linear model for longitudinal data.

Results: Significantly higher cardiac output and ETCO₂ ($P < .001$) were found in the LUCAS group on follow-up. The analysis showed no significant differences in mean arterial pressure ($P = .121$) or coronary perfusion pressure ($P = .690$) between groups.

Conclusions: LUCAS and AutoPulse devices were both effective in generating and maintaining adequate cardiac output and coronary perfusion pressure. The present study suggests that the LUCAS device may be superior to the AutoPulse device when comparing cardiac output and ETCO₂ values generated during cardiopulmonary resuscitation; however, no differences in coronary perfusion pressure were found. [Emergencias 2014;26:459-463]

Keywords: Cardiopulmonary resuscitation; haemodynamics. Cardiac output. Automated devices.