



Capnografía y oximetría cerebral como herramientas para mejorar la calidad de la reanimación cardiopulmonar y su uso como indicadores predictivos

Capnography and cerebral oximetry as tools to improve the quality of cardiopulmonary resuscitation and their use as predictive indicators

Autora: Eugenia Julia Cuesta Aguirre.

* **Dirección de contacto:** eu.aretxabala@gmail.com

Enfermera. Hospital Universitario 12 de Octubre (Madrid, España).

Resumen

Introducción. La reanimación cardiopulmonar (RCP) tiene una baja tasa de supervivencia tras la parada cardíaca. Según el Registro Español de Parada Cardíaca Extrahospitalaria (OHSCAR), su incidencia es de 24,2 por cada 1.000.000 habitantes, con solo un 9.8% de supervivencia al alta. Desde 2005, los organismos internacionales de reanimación han recomendado enfocarse en realizar una RCP de calidad y en nuevas herramientas para optimizarla. **Objetivo.** Evaluar la utilidad de la capnografía y la oximetría cerebral para mejorar la calidad de la RCP y predecir los resultados clínicos y neurológicos. **Metodología.** Se revisaron artículos en Science Direct, Medline y Cochrane Library, seleccionando investigaciones primarias y revisiones sistemáticas publicadas entre 2011 y 2024. La búsqueda incluyó términos relacionados con el dióxido de carbono al final de la espiración y la oximetría cerebral en RCP. **Resultados.** La capnografía permite monitorear en tiempo real la ventilación y el rendimiento cardíaco, siendo un predictor clave de la restauración de la circulación espontánea (RCE). Valores superiores a 10 mmHg se asocian con una mayor probabilidad de RCE. La oximetría cerebral mide la saturación de oxígeno cerebral e indica la eficacia de la RCP, con valores superiores al 40% correlacionados con mejores resultados. **Discusión.** La capnografía y la oximetría cerebral son herramientas esenciales en la RCP. Aunque la oximetría cerebral muestra potencial en la predicción del daño neurológico, se requieren más estudios para su implementación. Integrar estas mediciones puede mejorar los resultados de la RCP.

Palabras clave

Capnografía; Oximetría Cerebral; Reanimación Cardiopulmonar; Calidad de la RCP; Práctica Profesional.

Abstract

Introduction. Cardiopulmonary resuscitation (CPR) has a low survival rate after cardiac arrest. According to the Spanish Out-of-Hospital Cardiac Arrest Registry (OHSCAR), the incidence is 24.2 per 1,000,000 inhabitants, with only a 9.8% survival rate at discharge. Since 2005, international resuscitation organizations have recommended focusing on performing high-quality CPR and developing new tools to optimize it. **Objective.** To evaluate the usefulness of capnography and cerebral oximetry in improving the quality of CPR and predicting clinical and neurological outcomes. **Methodology.** Articles were reviewed in Science Direct, Medline, and the Cochrane Library, selecting primary research and systematic reviews published between 2011 and 2024. The search included terms related to end-tidal carbon dioxide and cerebral oximetry in CPR. **Results.** Capnography allows real-time monitoring of ventilation and cardiac performance, serving as a key predictor of the return of spontaneous circulation (ROSC). Values above 10 mmHg are associated with a higher probability of ROSC. Cerebral oximetry measures brain oxygen saturation and indicates CPR effectiveness, with values above 40% correlated with better outcomes. **Discussion.** Capnography and cerebral oximetry are essential tools in CPR. Although cerebral oximetry shows potential in predicting neurological damage, more studies are needed for its implementation. Integrating these measurements could improve CPR outcomes.

Keywords

Capnography; Cerebral Oximetry; Cardiopulmonary Resuscitation; CPR Quality; Professional Practice.

INTRODUCCION

La reanimación tras una parada cardíaca continua siendo un desafío. El último informe publicado por el Registro español de parada cardíaca extrahospitalaria (OHSCAR) incluyó 13.430 registros, suponiendo una incidencia de 24,2 por cada 1000.000 habitantes (1). Sin embargo, solo el 9,8% sobrevive al alta (1).

Desde las recomendaciones publicadas en el 2005, tanto por parte de la AHA (American Heart Association) como del ERC (European Resuscitation Council), en las que se empezó a enfatizar en la necesidad de una reanimación cardiopulmonar (RCP) de calidad, se han ido desarrollando técnicas y herramientas que nos ayudan a valorar la efectividad de nuestras compresiones, de la ventilación y, en definitiva, de las maniobras de reanimación. Si algo se ha puesto de manifiesto al introducir dichas herramientas de calidad durante la RCP, es que en la mayoría de los casos en los que la RCP no se hace correctamente, es por motivo de unas compresiones insuficientes (profundidad y ritmo), por una hiperventilación, por pausas prolongadas o por no identificar precozmente las causas reversibles (2,3).

Tras la introducción de dichas herramientas, tales como los dispositivos de control para las compresiones, los metrónomos en los monitores, el uso de ultrasonido Point of Care (POCUS) y el énfasis en la formación y actualización de los profesionales sanitarios, han demostrado que la calidad durante la reanimación cardiopulmonar deber ser un objetivo común para todos los reanimadores (4).

La actual tendencia de los estudios de Reanimación cardiopulmonar es poder obtener variables medibles durante la RCP que nos revelen la calidad de nuestras maniobras a tiempo real y poder seguir así mejorando los índices de supervivencia al alta de los pacientes que sufren una parada cardiorrespiratoria.

En lo que a nuestro estudio se refiere, revisaremos la capnografía y la oximetría cerebral:

Capnografía durante la RCP

La capnografía permite el monitoreo no invasivo de la ventilación a través de un capnograma, que muestra gráficamente las concentraciones de CO_2 a lo largo de todo el ciclo respiratorio. Este proceso comienza con la exhalación y finaliza al mostrar el pico de la presión parcial de CO_2 al final de la espiración (conocido como ETCO_2). Este indicador es crucial, ya que refleja tanto el flujo sanguíneo a través de los pulmones como el rendimiento cardíaco. Además, el ETCO_2 puede utilizarse para evaluar indirectamente la perfusión pulmonar, siempre que la ventilación se mantenga constante (5).

En el contexto de la RCP, el ETCO_2 puede medirse de forma continua sin necesidad de detener las compresiones torácicas, lo que proporciona una herramienta valiosa para evaluar la eficacia de la resucitación en tiempo real (2,3). Actualmente, la gran mayoría de los servicios de emergencias extrahospitalarias incluye la monitorización del ETCO_2 en sus protocolos. No obstante, aunque

la medición de ETCO_2 se encuentra ampliamente implementada en las guías de reanimación tanto del European Resuscitation Council (ERC) (2) como de la Asociación Americana del Corazón (AHA) (3), sigue siendo objeto de investigación para correlacionar sus valores con la calidad de las compresiones y la recuperación espontánea de la circulación (5-13).

La oximetría cerebral durante la RCP

La oximetría cerebral basada en la espectroscopia cercana al infrarrojo (NIRS) puede medir de manera no invasiva la saturación de oxígeno de la hemoglobina en la sangre mixta arterial, venosa y capilar en el cerebro (14). La NIRS emite y detecta luz cercana al infrarrojo de forma inofensiva a través de sensores colocados típicamente en la frente, penetrando aproximadamente 3 cm en la región frontal del cerebro. Aprovechando los espectros de absorción únicos de la oxihemoglobina y la desoxihemoglobina, los dispositivos NIRS calculan la rSO_2 utilizando la Ley de Beer-Lambert. Los valores normales de rSO_2 se asemejan a la saturación venosa (60-80%) y reflejan el equilibrio dinámico entre la entrega y la absorción de oxígeno. A diferencia de la oximetría de pulso periférica, la oximetría cerebral no depende del flujo pulsátil y ha sido utilizada en diversos entornos, incluyendo el paro cardíaco, la neurocirugía y la cirugía cardiorrespiratoria (14). En la actualidad existen varios medidores que pueden ser transportados y cuyo uso no requiere formación (15).

La saturación cerebral de oxígeno (SrcO_2) se investiga como un indicador de la restauración de la circulación espontánea (RCE), la calidad de las compresiones y la predicción de la recuperación neurológica durante un evento de paro cardiorrespiratorio (PCR). Actualmente, numerosos estudios consideran la oximetría cerebral una herramienta prometedora para mejorar la calidad de la RCP y como predictor de daño neurológico (15-20).

El uso efectivo de estas mediciones podría traducirse en una mejora significativa en la calidad de la reanimación y, por lo tanto, en un aumento de la supervivencia en casos de PCR.

El objetivo de esta revisión es evaluar la utilidad de la capnografía y la oximetría cerebral durante la reanimación cardiopulmonar para mejorar la calidad de la RCP y predecir los resultados clínicos y neurológicos.

Metodología

La revisión se llevó a cabo consultando las bases de datos bibliográficas Science Direct, Medline (PubMed) y Cochrane Library durante los meses de junio, julio y agosto del 2024. Se incluyeron artículos de investigaciones primarias que se centraron en el uso del ETCO_2 y SrcO_2 como herramientas para evaluar la calidad de la reanimación cardiopulmonar (RCP). Asimismo, se incorporaron revisiones sistemáticas recientes relacionadas con la saturación cerebral de oxígeno. Se seleccionaron artículos con acceso completo, publicados entre los años 2011 y 2024, en español e inglés.

Los términos utilizados en la búsqueda fueron:

- “Reanimación Cardiopulmonar” AND “ETCO2” AND “SrcO2”
- “Reanimación Cardiopulmonar” AND (“ETCO2” OR “Dióxido de Carbono al Final de la Espiración”) AND (“SrcO2” OR “Saturación Cerebral de Oxígeno”)
- “Reanimación Cardiopulmonar” AND “ETCO2” AND (“Saturación Cerebral de Oxígeno” OR “SrcO2”)
- “Reanimación Cardiopulmonar” AND (“ETCO2” AND “SrcO2”) AND (“Utilidad” OR “Aplicación Clínica” OR “Uso en Práctica Clínica”) AND (“Futuro” OR “Desarrollo Futuro” OR “Tendencias”)
- “Reanimación Cardiopulmonar” AND (“ETCO2” OR “Saturación Cerebral de Oxígeno”) AND “Utilidad en Práctica Clínica” AND (“Presente” OR “Futuro”)
- “Cardiopulmonary Resuscitation” AND (“End-Tidal CO2” OR “ETCO2”) AND (“Cerebral Oxygen Saturation” OR “SrcO2”)
- “Cardiopulmonary Resuscitation” AND (“End-Tidal Carbon Dioxide” OR “ETCO2”) AND (“Cerebral Oxygenation” OR “SrcO2”) AND (“Clinical Practice” OR “Clinical Utility”) AND (“Future Trends” OR “Future Directions”)

Para el análisis de la información, se revisaron los títulos, autores, resúmenes y palabras clave de los estudios, descartando aquellos artículos cuyo objetivo principal no se centraba en el estudio de ETCO₂ o SrcO₂.

RESULTADOS

Finalmente, la revisión incluyó un total de 145 artículos de investigación y 3 revisiones sistemática. De estos, se descartaron 119 artículos que no abordaban de manera directa y principal los elementos de estudio, resultando en 17 artículos seleccionados, de los cuales 16 están escritos en inglés y 1 en español (en la figura 1 se muestra el diagrama de flujo para el cribado y selección de los artículos incluidos).

En la **Tabla 1** se muestran los principales hallazgos de los estudios seleccionados.

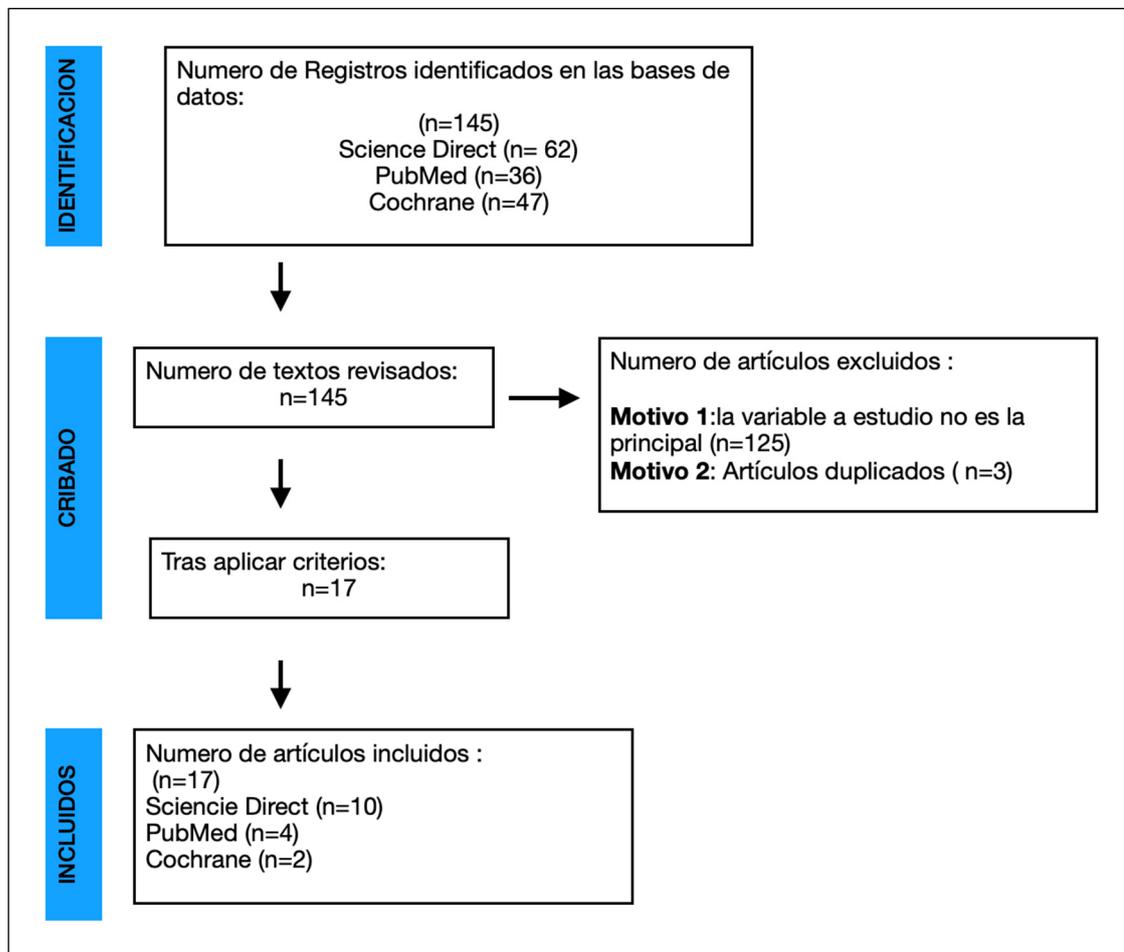


Figura 1. Diagrama de flujo de la identificación, cribado y selección.

Tabla 1. Características principales de los estudios incluidos.

Autores	Poblacion de estudio	Resultados	Conclusiones
Poon KM et al (5) 2016	Pacientes > 18 años, que sufrieron una PCR no traumática entre Julio 2012-Junio 2013 en dos hospitales regionales de Hong Kong	Un nivel de $ETCO_2 >10$ mmHg durante 3 minutos predice bien la recuperación de circulación espontánea (RCE) con una sensibilidad del 95% y un valor predictivo negativo del 92%. La especificidad es baja (27%), y el área bajo la curva ROC es de 0.80, lo que indica una buena capacidad predictiva.	Un $ETCO_2 \leq 10$ mmHg durante 3 minutos se asoció con un mal pronóstico y una baja probabilidad de retorno de la circulación espontánea (RCE). Un nivel bajo de $ETCO_2$ podría tener un papel en la reducción de la reanimación médicamente fútil y prolongada
Pokorná M et al (6) 2010	Se incluyeron 108 pacientes que sufrieron una PCR y que fueron monitorizados su $ETCO_2$; 59 de ellos tuvieron una RCE y 49 no la tuvieron.	El retorno de la circulación espontánea (RCE) se asoció con un aumento repentino en el $ETCO_2$ que se mantuvo significativamente más alto que antes del RCE. En el segundo grupo de pacientes sin RCE y fue más bajo que en el primer grupo de pacientes	En pacientes con ventilación constante, un aumento repentino del $ETCO_2$ superior a 10 mm Hg puede indicar el retorno de la circulación espontánea RCE. Después de RCE, el $ETCO_2$ es significativamente más alto, lo que sugiere que un incremento súbito de más de 10 mm Hg en el $ETCO_2$ registrado continuamente podría ser un indicador de la posibilidad de RCE.
Singer AJ et al (7) 2018	225 paciente que sufrieron PCR fueron monitorizados desde Octubre 2011- Noviembre 2014	En el estudio 100 pacientes tuvieron mediciones de rSO_2 y $ETCO_2$. De estos, el 33% logró un retorno de la circulación espontánea (RCE), pero solo 2 sobrevivieron hasta el alta. Los puntos de corte óptimos fueron 50% para rSO_2 y 20 mm Hg para $ETCO_2$. $ETCO_2$ fue más sensible para predecir RCE (100% vs. 48%), mientras que rSO_2 fue más específico (85% vs. 45%).	Aunque están pobremente correlacionados, rSO_2 y $ETCO_2$ tienen características diagnósticas similares. $ETCO_2$ es más sensible y rSO_2 es más específico para predecir el retorno de la circulación espontánea (RCE) en paros cardíacos fuera del hospital.
Eckstein M et al (8) 2011	3212 pacientes de la ciudad de los Angeles que sufrieron PCR, 2689 de los cuales (54.4%) fue una PCR presenciada y 516 (16.9%) tuvieron una fibrilacion ventricular.	El $ETCO_2$ inicial promedio fue mayor en pacientes que lograron RCE (27.6) que en los que no lo hicieron (16.0). Un $ETCO_2$ inicial >10 y una caída $<25\%$ durante la reanimación se asociaron con mayor probabilidad de lograr RCE. La combinación de varios factores, como $ETCO_2 \leq 10$ y una caída $>25\%$, predijo un 97% de fracaso en lograr RCE	Un $ETCO_2$ inicial >10 y la ausencia de una caída del $ETCO_2 >25\%$ desde la línea base estuvieron significativamente asociados con la consecución de RCE en paros cardíacos fuera del hospital
Lah K et al (9) 2011	Dos cohortes : Pacientes cuyo ritmo inicial era no desfibrilable (51) y pacientes cuyo ritmo era desfibrilable (63) de un total de 325 pacientes estudiados que sufrían una PCR en el Hospital de Maribor de Eslovenia	Los valores iniciales de $etCO_2$ fueron más altos en el paro cardíaco no desfibrilable. En el paro cardíaco desfibrilable, los pacientes con RCE tuvieron valores iniciales de $PetCO_2$ significativamente más altos. Después de cinco minutos de RCP, los valores de $etCO_2$ fueron significativamente diferentes entre los pacientes con y sin RCE en ambos grupos.	Durante la RCP fuera del hospital, los valores de $etCO_2$ fueron más altos en los primeros dos minutos en casos ritmos no desfibrilables, con un valor pronóstico del $etCO_2$ inicial solo en paros cardíacos por FV/TV. El $etCO_2$ se volvió un indicador de RCE después del quinto minuto en ambos grupos, lo que lo convierte en un criterio útil en el diagnóstico y atención prehospitalaria del paro cardíaco
Paiva E et al (10) 2017	Ensayos controlados aleatorizados, estudios de cohortes y estudios de casos y controles sobre paro cardíaco en adultos en cualquier entorno que reportaran valores específicos de $ETCO_2$ y que intentaran correlacionar esos valores con el pronóstico.	Se incluyeron 6198 pacientes en la revisión cualitativa y cinco estudios en el meta-análisis. La evidencia, aunque de baja calidad, sugiere que las mediciones de $ETCO_2 \geq 10$ mmHg durante la RCP se relacionan con el retorno de la circulación espontánea (RCE). Un $ETCO_2 >20$ mmHg a los 20 minutos es un mejor predictor de RCE, mientras que un $ETCO_2 <10$ mmHg después de 20 minutos indica solo un 0.5% de probabilidad de RCE.	Con base en la evidencia existente, los niveles de $ETCO_2$ parecen proporcionar información pronóstica limitada para los pacientes que han experimentado un paro cardíaco. Dado los muchos factores que pueden influir en los niveles iniciales de $ETCO_2$, los valores extremos o las tendencias pueden ser más útiles que los niveles estáticos en el rango medio.

Autores	Poblacion de estudio	Resultados	Conclusiones
Savastano S et al (11) 2017	Se analizo de manera retrospectiva los informes generados por el monitor/ desfibrilador manual (Corpuls de GS Elektromedizinische Geräte G. Stemple GmbH, Alemania) en casos de paro cardíaco por fibrilación ventricular (FV) entre enero de 2015 y diciembre de 2016. Se calculó el valor promedio del ETCO ₂ durante el minuto anterior a la desfibrilación (METCO ₂ 60). Tres cardiólogos realizaron una evaluación a ciegas de la efectividad de cada desfibrilación.	Se administraron un total de 207 descargas a 62 pacientes. Al considerar los tres tercios de METCO ₂ 60 (T1: METCO ₂ 60 ≤ 20 mmHg; T2: 20 mmHg < METCO ₂ 60 ≤ 31 mmHg; y T3: METCO ₂ 60 > 31 mmHg), se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los porcentajes de éxito de las descargas (T1: 50%; T2: 63%; T3: 78%) Cuando el METCO ₂ 60 fue inferior a 7 mmHg, ninguna descarga fue efectiva, y cuando el METCO ₂ 60 fue superior a 45 mmHg, ninguna descarga fue ineficaz	Esta es la primera demostración de la relación entre ETCO ₂ y la efectividad de la desfibrilación. Los hallazgos destacan el papel fundamental de la RCP de alta calidad, monitoreada a través del ETCO ₂ , y sugieren que el monitoreo del ETCO ₂ puede ser una herramienta adicional para guiar la desfibrilación
Baldi et al (12) 2021	Se consideraron todos los pacientes consecutivos con paro cardíaco fuera del hospital de cualquier etiología entre 2015 y 2018 en la provincia de Pavia (Italia) y la región de Ticino (Suiza). Se excluyeron aquellos pacientes que fallecieron antes de la llegada de la ambulancia, con una orden de “no reanimar”, sin valor de ETCO ₂ o con datos incompletos.	El estudio incluyó 668 pacientes. Un valor de ETCO ₂ >20 mmHg al momento de la intubación y su aumento 10 minutos después fueron predictores independientes de supervivencia hasta el ingreso hospitalario y el alta. Para un buen resultado neurológico, el ETCO ₂ al intubar y su cambio a los 10 minutos también fueron predictores significativos (OR 1.83 y OR 3.9). Esto se mantuvo incluso al considerar género, edad, etiología, ubicación, RCP y tiempo de llegada de EMS.	Un valor de ETCO ₂ > 20 mmHg al momento de la intubación y su aumento durante la reanimación mejoran la predicción de supervivencia al alta hospitalaria con buen resultado neurológico en pacientes con paro cardíaco fuera del hospital (OHCA). El aumento de ETCO ₂ durante la reanimación es un predictor más poderoso que el ETCO ₂ al intubar.
Smida T et al (13) 2023	14.122 registros de 2018 a 2021 con paro cardíaco extrahospitalario no traumático en los que se intentó reanimación. Se calcularon los valores más bajos y más altos de ETCO ₂ registrados durante todo el intervalo prehospitalario, además de los intervalos pre y post-RCE.	De los pacientes, 2,209 (15.6%) fueron clasificados como supervivientes al alta. En comparación con los pacientes con valores máximos de ETCO ₂ prehospitalario de 30-40 mmHg, las probabilidades de mortalidad aumentaron en los pacientes con valores máximos de ETCO ₂ prehospitalario de <20 mmHg. Después de 20 minutos de monitoreo de ETCO ₂ , menos del 12% de los pacientes tuvieron valores de ETCO ₂ <10 mmHg. Este punto de corte fue 96.7% específico y 6.9% sensible para la mortalidad.	En este conjunto de datos, tanto los valores altos como bajos de ETCO ₂ se asociaron con una mayor mortalidad. Las prácticas de reanimación contemporáneas pueden hacer que los valores bajos de ETCO ₂ sean escasos, y los algoritmos de decisión para la terminación de la RCP no deben usar los valores de ETCO ₂ de forma aislada.
Huppert EL et al (15) 2022	Estudios primarios de Saturación cerebral de Oxígeno en pacientes en PCR 2010-2024.	La oximetría cerebral mediante NIRS puede monitorear la oxigenación cerebral en tiempo real durante la RCP, mejorando la calidad de la reanimación y previniendo lesiones por reperfusión. Valores más altos de rSO ₂ se asocian con mayor probabilidad de RCE. Combinada con marcadores como el ETCO ₂ , podría predecir el resultado neurológico.	No se ha identificado un objetivo universal de rSO ₂ para optimizar RCE o la recuperación neurológica. Sin embargo, se recomienda aumentar el rSO ₂ por encima del 60-65% o al menos un 15-20%. Un rSO ₂ ≥40% mejora las probabilidades de RCE, y ≥50% puede ser neuroprotector si se mantiene durante al menos el 60% de la RCP. Esta guía se conoce como la “regla 40-50-60”
Parnia S et al (16) 2012	La oximetría cerebral se incorporó en el manejo del paro cardíaco en 19 casos de paro cardíaco intrahospitalario, cinco de los cuales tuvieron RCE. La medida principal de resultado fue la relación entre rSO(2) y RCE	La oximetría cerebral fue factible durante el paro cardíaco intrahospitalario y no afectó su manejo. Los pacientes con RCE mostraron rSO ₂ significativamente más altos que los no sobrevivientes, especialmente en los últimos 5 minutos del paro. Un rSO ₂ superior al 30% durante más del 50% del tiempo se asoció con RCE, mientras que en los no sobrevivientes fue inferior al 30%.	La oximetría cerebral puede desempeñar un papel en la predicción del RCE y la optimización de la perfusión cerebral durante el paro cardíaco.

Autores	Poblacion de estudio	Resultados	Conclusiones
Prosen G et al (17) 2018	Estudio observacional prospectivo se realizó en el entorno prehospitalario durante la reanimación cardiopulmonar (RCP) de pacientes con paro cardíaco fuera del hospital (OHCA). Durante el período de estudio de tres años, se respondieron a 280 casos; el rSO ₂ se midió de manera continua durante la RCP y después de lograr el RCE.	Se compararon los datos entre los grupos con RCE (22) y sin RCE (3). Los niveles iniciales de rSO ₂ estaban < 15% en ambos grupos. Durante la RCP, los niveles de rSO ₂ fueron más altos en el grupo con RCE. Antes del RCE, los niveles máximos de rSO ₂ fueron mayores en el grupo con RCE (47% vs. 31%, p < 0.01). Además, se observó un aumento significativo y sostenido en los niveles de rSO ₂ minutos antes del RCE, seguido de su normalización.	Los niveles iniciales de rSO ₂ durante el OHCA suelen ser indetectables al comenzar la RCP. Durante la RCP, los niveles de rSO ₂ aumentan y son más altos en los pacientes que logran RCE. Un aumento rápido y sostenido en rSO ₂ antes del RCE, seguido de su normalización, se asocia con una mejor recuperación. Niveles bajos persistentes de rSO ₂ durante la RCP sugieren malos resultados neurológicos.
Schnaubelt S et al (18) 2018	En total 26 estudio sobre la medición de rSO ₂ durante la RCP. Los valores medios, medianos y de ΔrSO ₂ fueron tomados de los estudios o calculados.	Un rSO ₂ medio de 41% se asoció con RCE, mientras que un ΔrSO ₂ del 7% tuvo alta sensibilidad para predecir RCE. Un rSO ₂ de 47% se relacionó con buenos resultados neurológicos.	Niveles más altos de rSO ₂ se correlacionaron consistentemente con tasas aumentadas de RCE. El poder discriminatorio de rSO ₂ para pronosticar un resultado neurológico favorable sigue siendo incierto.
Takegawa et al (19) 2019	Estudio retrospectivo en pacientes con paro cardíaco extrahospitalario que midió rSO ₂ continuamente durante la RCP. Se utilizó regresión logística para evaluar variables relacionadas con rSO ₂ para predecir el RCE en un total de 90 pacientes de los cuales 35 obtuvieron RCE	El aumento durante un período de medición de 16 minutos fue significativamente mayor que ΔrSO ₂ medido durante períodos de 4, 8, 12 y 20 minutos. Durante este período de 16 minutos, el subconjunto que mostró el mejor valor de AUC fue la interacción entre la cantidad de aumento máximo y rSO ₂ (base).	La combinación de rSO ₂ (base) con la cantidad de aumento máximo en el valor de rSO ₂ a lo largo del tiempo podría ser un nuevo índice para predecir el RCE, que podría ser útil para guiar la resucitación cardiopulmonar.
Nishiyama K et al (20) 2015	1195 pacientes con paro cardíaco extrahospitalario de causa cardíaca presunta del Registro de Predicción de Resultados Neurológicos en Pacientes Post-Paro Cardíaco de Japón. El objetivo principal fue un buen resultado neurológico (categorías de rendimiento cerebral 1 o 2 [CPC1/2]) 90 días después del evento.	De 1195 pacientes con paro cardíaco fuera del hospital, el 6% tuvo buenos resultados neurológicos. Un rSO ₂ ≥40% fue el mejor indicador para buenos resultados (sensibilidad 81%, especificidad 96%). El rSO ₂ alto se asoció con buenos resultados, especialmente si los pacientes recibieron hipotermia terapéutica o angiografía coronaria.	El rSO ₂ es un buen indicador de los resultados neurológicos a los 90 días para pacientes post-paro cardíaco que han recibido soporte avanzado
Koyama et al (21) 2013	15 pacientes adultos con paro cardíaco cuya RCP fue monitoreada con NIRS. Se recolectaron los cambios en la concentración total de hemoglobina (ΔcHb), el índice de oxígeno tisular (TOI) y el ΔTOI para evaluar la calidad de las compresiones torácicas de manera no invasiva.	Un TOI > 40% medido al ingreso parece ser significativo para predecir el resultado del paciente. De 15 pacientes, 6 tenían un TOI > 40% medido al ingreso, y el 67% de estos últimos lograron RCE tras la RCP, encontrándose una diferencia significativa entre el retorno de la circulación espontánea y la muerte (p = 0.047; p < 0.05).	La espectroscopía de infrarrojo cercano NIRS evalúa de manera confiable la calidad de las compresiones torácicas en pacientes con paro cardíaco, demostrada por las ondas sincrónicas durante la RCP y con posible valor predictivo pronóstico
Schewe JC et al (22) 2014	Los valores de oximetría cerebral (rSO ₂) se registraron continuamente durante la resucitación y el transporte. La viabilidad se definió como más del 80% del tiempo total de grabación alcanzado en relación con el tiempo de grabación previsto. Un total de 10 pacientes que sufrieron PCR fueron incluidos.	El rSO ₂ durante la RCP manual fue más bajo en los pacientes que no experimentaron RCE en comparación con los 3 pacientes con RCE (31.6% ± 7.4 frente a 37.2% ± 17.0). El RCE se asoció con un aumento en el rSO ₂ . La disminución del rSO ₂ indicó la ocurrencia de un nuevo paro en 2 pacientes.	La monitorización con NIRS es factible durante la reanimación de pacientes con paro cardíaco extrahospitalario y puede ser una herramienta útil durante la reanimación, permitiendo una detección más temprana del RCE y de la recaída en PCR

Capnografía durante la RCP

El valor predictivo del dióxido de carbono al final de la espiración (ETCO₂) durante la RCP ha sido ampliamente documentado en múltiples estudios. Estos han demostrado que un aumento en los niveles de ETCO₂ se asocia con un mayor éxito en la restauración de la circulación espontánea (RCE) (5-6). La evidencia sugiere que valores de ETCO₂ superiores a 10 mmHg durante la RCP pueden ser un fuerte indicador de una posible RCE (7,8), y algunos estudios incluso proponen 19 mmHg como el punto de corte óptimo (6).

La monitorización del ETCO₂ no sólo ayuda a predecir la RCE, sino que también ofrece información valiosa sobre la eficacia de las maniobras de reanimación, mostrando una alta sensibilidad y especificidad en la predicción de resultados positivos. Sin embargo, valores de ETCO₂ inferiores a 20 mmHg, o iguales o menores a 10 mmHg a los tres minutos de RCP, se asocian con un pronóstico desfavorable (5). Esto resalta la importancia de mantener niveles adecuados de ETCO₂ durante la reanimación.

Un ETCO₂ inicial superior a 20 mmHg en el momento de la intubación está relacionado con una mayor tasa de supervivencia (11). Además, un ETCO₂ superior a 20 mmHg después de 20 minutos de RCP es un mejor predictor de RCE que el límite de 10 mmHg. En cambio, un ETCO₂ inferior a 10 mmHg después de 20 minutos de RCP está asociado con solo un 0.5% de probabilidad de lograr RCE (9,11).

Un estudio también sugiere que los valores de ETCO₂ pueden correlacionarse con la efectividad de las descargas en ritmos desfibrilables. Los pacientes con mediciones de ETCO₂ superiores a 45 mmHg tuvieron descargas efectivas, mientras que aquellos con ETCO₂ inferiores a 7 mmHg no tuvieron descargas efectivas (11).

Un ETCO₂ superior a 10 mmHg durante 3 minutos es un predictor confiable de RCE, con una sensibilidad del 95%, aunque con baja especificidad (5). Además, se ha observado que un aumento repentino en el ETCO₂, por encima de 10 mmHg, puede indicar un retorno exitoso de la circulación (5). Estos hallazgos son consistentes, ya que un ETCO₂ inicial superior a 10 mmHg y una disminución menor al 25% durante la reanimación se asocian con una mayor probabilidad de RCE (7). Sin embargo, valores de ETCO₂ extremadamente bajos (<20 mmHg) y muy altos (>50 mmHg) se relacionan con una mayor mortalidad, destacando la importancia de no utilizar los valores de ETCO₂ de forma aislada para decidir la finalización de la reanimación (10).

Estos hallazgos refuerzan el papel crucial del ETCO₂ como una herramienta indispensable en la práctica avanzada de la RCP.

Oximetría cerebral durante la reanimación cardiopulmonar

La oximetría cerebral (NIRS) puede ser eficaz para detectar tanto el retorno de la circulación espontánea (RCE) como las paradas subsecuentes sin necesidad de realizar

chequeos manuales del pulso, minimizando así las interrupciones (15). Durante una parada cardíaca, se observa típicamente un declive rápido en el rSO₂, mientras que un incremento progresivo podría indicar un RCE. Por ello, algunos expertos recomiendan el uso del rSO₂ para identificar tanto el RCE como las recaídas, tanto en ritmos desfibrilables como no desfibrilables, eliminando la necesidad de detener las compresiones para palpar el pulso (15-17,20).

En una cohorte de 183 paradas cardíacas intrahospitalarias (IHCA), se observó que el rSO₂ medio en pacientes con RCE fue del 51.8± 11.2%, en comparación con el 40.9 ± 12.3% en aquellos sin RCE (p < 0.001) (21). Estudios recientes sugieren que la RCE es poco frecuente (2.7%) cuando el rSO₂ medio es inferior al 30%, y los pacientes que lograban RCE no sobrevivían hasta el alta. Además, la RCE era extremadamente rara cuando el rSO₂ medio era inferior al 23% (p < 0.001). Estos hallazgos sugieren que existe un umbral de rSO₂ por debajo del cual continuar con la RCP convencional sin métodos adicionales para mejorar el tratamiento podría ser ineficaz (17).

Asimismo, la oximetría cerebral ha sido estudiada como predictor de daño neurológico. Un estudio mostró que los pacientes con valores de rSO₂ superiores al 40% a su llegada al hospital tenían menores secuelas neurológicas (18). Además, aquellos que mantenían al menos el 60% del tiempo de reanimación con rSO₂ superior al 50% durante la RCP presentaban mejores recuperaciones neurológicas (15).

Las variaciones en las formas de onda detectadas mediante NIRS se han asociado con la calidad de las compresiones torácicas. En un grupo de 15 eventos de parada cardíaca extrahospitalaria (OHCA), la interrupción de las compresiones llevó a una disminución significativa en los valores de NIRS, los cuales se recuperaron al reanudar las compresiones. Además, las lecturas de NIRS no mejoraron durante compresiones de menor calidad (profundidad <5 cm), mientras que compresiones más profundas (profundidad >5 cm) resultaron en un incremento de estos valores (19).

Las revisiones del NIRS durante la RCP intentan establecer valores de corte aplicables a la práctica clínica, sugiriendo que alcanzar un rSO₂ ≥40% mejora las probabilidades de RCE, y un rSO₂ ≥50% puede ser neuroprotector, especialmente cuando se mantiene durante al menos el 60% de la RCP (15).

Los estudios presentados resaltan una relación significativa entre los valores de dióxido de carbono al final de la espiración (ETCO₂) y la oximetría cerebral (SrcO₂) con el RCE y los resultados neurológicos en pacientes con paro cardíaco extrahospitalario. Los valores de SrcO₂ superiores al 40% aumentan las probabilidades de RCE, y valores de SrcO₂ ≥50% podrían tener un efecto neuroprotector (15,18). El SrcO₂ aumenta significativamente minutos antes del RCE, lo que sugiere que puede ser un marcador temprano de recuperación (15).

Aunque ambos métodos son útiles, cada uno proporciona información distinta. El ETCO_2 refleja la ventilación y perfusión pulmonar, mientras que el SrcO_2 mide directamente la oxigenación cerebral (17). Combinados, estos marcadores pueden mejorar la toma de decisiones durante la reanimación y optimizar los resultados clínicos, sugiriendo que su uso conjunto puede ofrecer una evaluación más completa (16).

DISCUSIÓN

Los estudios sobre ETCO_2 y rSO_2 en la predicción de RCE y resultados neurológicos tienen varias limitaciones. Primero, la variabilidad en los umbrales de ETCO_2 dificulta la creación de guías uniformes ya que los estudios proponen diferentes rangos para predecir la RCE, sin existir consenso general.

Además, muchos estudios tienen tamaños de muestra pequeños y un diseño unicentrico, lo que reduce la generalización de los resultados, limitando el poder estadístico. También hay falta de estandarización en los tiempos de medición de ETCO_2 y rSO_2 entre los estudios, complicando la comparación de resultados.

Finalmente, muchos estudios no consideraron adecuadamente factores de confusión como la calidad de la RCP, el uso de fármacos o el tiempo de parada no asistida.

Las futuras investigaciones deben centrarse en definir con precisión los umbrales óptimos de ETCO_2 para predecir el RCE, los resultados neurológicos y la calidad de las compresiones, ya que actualmente hay variabilidad en los valores de corte. Es esencial realizar estudios controlados a gran escala para establecer estos umbrales de forma más clara y aplicable en distintos escenarios clínicos.

En cuanto a la oximetría cerebral (SrcO_2), se necesitan más estudios multicéntricos que incluyan un mayor número de pacientes para obtener datos más representativos y confiables. Esto permitirá verificar si los umbrales actuales, como el del 40-50%, son aplicables en diversos contextos.

Conclusiones

La capnografía permite un seguimiento continuo y no invasivo del dióxido de carbono al final de la espiración (ETCO_2) durante la reanimación cardiopulmonar (RCP). Esto proporciona una evaluación en tiempo real del flujo sanguíneo a través de los pulmones y el rendimiento cardíaco. Un aumento en los valores de ETCO_2 durante la RCP se asocia con una mayor probabilidad de restauración de la circulación espontánea (RCE). Valores superiores a 10 mmHg indican una mayor posibilidad de RCE, aunque la evidencia más reciente propone un punto de corte de 19 mmHg. Valores bajos de ETCO_2 (inferiores a 10 mmHg después de 20 minutos) están relacionados con una baja probabilidad de RCE y un pronóstico desfavorable. El ETCO_2 también puede reflejar la eficacia de las descargas en ritmos desfibrilables, siendo útil para evaluar la efectividad del tratamiento durante la RCP.

La oximetría cerebral mediante espectroscopia cercana al infrarrojo (NIRS) mide la saturación de oxígeno en el cerebro y puede indicar la efectividad de la RCP sin necesidad de interrumpir las maniobras. Un incremento en la saturación de oxígeno cerebral (rSO_2) durante la RCP puede señalar un posible retorno de la circulación espontánea. Valores bajos de rSO_2 (<30%) se asocian con una baja probabilidad de RCE. El rSO_2 también puede predecir el daño neurológico: valores superiores a 40% al ingreso al hospital y mantener rSO_2 >50% durante al menos el 60% de la RCP se correlacionan con una mejor recuperación neurológica. La calidad de las compresiones torácicas afecta los valores de NIRS, con compresiones profundas (>5 cm) asociadas con mejores lecturas de rSO_2 y compresiones de baja calidad (<5 cm) resultando en lecturas deficientes.

En resumen, tanto la medición de ETCO_2 como la oximetría cerebral son herramientas cruciales para evaluar la eficacia de la RCP y predecir los resultados de la resucitación, permitiendo una mejor toma de decisiones durante el proceso.

La medición de ETCO_2 tiene una sólida base de evidencia y una amplia implementación en la práctica de la RCP, proporcionando una herramienta valiosa para evaluar la eficacia de la reanimación y predecir los resultados. Por otro lado, aunque la oximetría cerebral (rSO_2) ha mostrado utilidad en la predicción del daño neurológico y puede ofrecer información importante sobre la efectividad de la RCP, aún se necesitan más estudios para establecer su implementación generalizada durante la reanimación. La investigación futura puede ayudar a integrar de manera más efectiva la medición de rSO_2 en los protocolos de RCP, complementando así las herramientas actuales y mejorando los resultados para los pacientes.

Recibido: 09/09/2024. Aceptado: 17/09/2024.

Versión definitiva: 20/09/2024

BIBLIOGRAFIA

1. Registro Español de Parada Cardíaca Extrahospitalaria [Internet]; 14 de Febrero de 2024. [Consultado 20 jun 2024]: Disponible en <https://www.cercp.org/wp-content/uploads/2024/02/Informe-final-OHSCAR-2022.pdf>
2. Michels G, Pöss J, Thiele H. ERC-Leitlinien 2021 zur kardiopulmonalen Reanimation [ERC guidelines 2021 on cardiopulmonary resuscitation]. *Herz.* 2022;47(1):4-11. doi:10.1007/s00059-021-05082-7
3. Huato D, Larrea M, Campos-Miño S. Revisión y cambios 2022 de las últimas Guías de Resucitación Cardiopulmonar de la American Heart Association (AHA). *Metro Ciencia.* 2022; doi: <https://doi.org/10.47464/MetroCiencia/vol30/4/2022/60-67>
4. Bernard S, Pashun RA, Varma B, Yuriditsky E. Physiology-Guided Resuscitation: Monitoring and Augmenting Perfusion during Cardiopulmonary Arrest. *Journal of Clinical Medicine.* 2024; 13(12):3527. <https://doi.org/10.3390/jcm13123527>

5. Poon KM, Lui CT, Tsui KL. Prognostication of out-of-hospital cardiac arrest patients by 3-min end-tidal capnometry level in emergency department. *Resuscitation.* 2016;102:80-84. doi:10.1016/j.resuscitation.2016.02.021
6. Pokorná M, Necas E, Kratochvíl J, Skripský R, Andrlík M, Franek O. A sudden increase in partial pressure end-tidal carbon dioxide (P(ET)CO₂) at the moment of return of spontaneous circulation. *J Emerg Med.* 2010;38(5):614-621. doi:10.1016/j.jemermed.2009.04.064
7. Singer AJ, Nguyen RT, Ravishankar ST, et al. Cerebral oximetry versus end tidal CO₂ in predicting ROSC after cardiac arrest. *Am J Emerg Med.* 2018;36(3):403-407. doi:10.1016/j.ajem.2017.08.046
8. Eckstein M, Hatch L, Malleck J, McClung C, Henderson SO. End-tidal CO₂ as a predictor of survival in out-of-hospital cardiac arrest. *Prehosp Disaster Med.* 2011;26(3):148-150. doi:10.1017/S1049023X11006376
9. Lah K, Križmarić M, Grmec S. The dynamic pattern of end-tidal carbon dioxide during cardiopulmonary resuscitation: difference between asphyxial cardiac arrest and ventricular fibrillation/pulseless ventricular tachycardia cardiac arrest. *Crit Care.* 2011;15(1):R13. doi:10.1186/cc9417
10. Paiva E, Paxton J, O'Neil B. The Use of End-Tidal Carbon Dioxide (ETCO₂) Measurement to Guide Management of Cardiac Arrest: A Systematic Review. *Resuscitation.* 123. doi:10.1016/j.resuscitation.2017.12.003
11. Savastano S, Baldi E, Raimondi M, Palo A, Belliato M, Cacciatore E, Corazza V, et al. End-tidal carbon dioxide and defibrillation success in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation.* 2017 Dec;121:71-75. doi: 10.1016/j.resuscitation.2017.09.010. Epub 2017 Sep 21. PMID: 28942011.
12. Baldi E, Caputo ML, Klersy C, Benvenuti C, Contri E, Palo A, et al. End-tidal carbon dioxide (ETCO₂) at intubation and its increase after 10 minutes resuscitation predicts survival with good neurological outcome in out-of-hospital cardiac arrest patients. *Resuscitation.* 2022 Dec;181:197-207. doi: 10.1016/j.resuscitation.2022.09.015. Epub 2022 Sep 24. PMID: 36162612.
13. Smida T, Menegazzi JJ, Crowe RP, Salcido DD, Bardes J, Myers B. The Association of Prehospital End-Tidal Carbon Dioxide with Survival Following Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Prehosp Emerg Care.* 2024;28(3):478-484. doi: 10.1080/10903127.2023.2262566. Epub 2023 Oct 6. PMID: 37751228; PMCID: PMC10963336.
14. Meng L, Gelb AW. Cerebral oximetry: Three questions to ask. *Rev Colomb Anesthesiol.* 2014;42(3):192-200. doi: 10.1016/j.rca.2014.06.001. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rca.2014.06.001>
15. Huppert EL, Parnia S. Cerebral oximetry: a developing tool for monitoring cerebral oxygenation during cardiopulmonary resuscitation. *Ann N Y Acad Sci.* 2022;1509(1):12-22. doi:10.1111/nyas.14706
16. Parnia S, Nasir A, Shah C, Patel R, Mani A, Richman P. A feasibility study evaluating the role of cerebral oximetry in predicting return of spontaneous circulation in cardiac arrest. *Resuscitation* 2012 Aug;83(8):982-5. doi: 10.1016/j.resuscitation.2012.01.039. Epub 2012 Feb 6. PMID: 22322284.
17. Prosen G, Strnad M, Doniger SJ, Markota A, Stožer A, Borovnik-Lesjak V, Mekiš D. Cerebral tissue oximetry levels during prehospital management of cardiac arrest - A prospective observational study. *Resuscitation.* 2018 Aug;129:141-145. doi: 10.1016/j.resuscitation.2018.05.014. Epub 2018 May 12. PMID: 29763712
18. Schnaubelt S, Sulzgruber P, Menger J, Skhirtladze-Dworschak K, Sterz F, Dworschak M. Regional cerebral oxygen saturation during cardiopulmonary resuscitation as a predictor of return of spontaneous circulation and favourable neurological outcome - A review of the current literature. *Resuscitation.* 2018 Apr;125:39-47. doi: 10.1016/j.resuscitation.2018.01.028. Epub 2018 Feb 2. PMID: 29410191.
19. Takegawa R, Shiozaki T, Ogawa Y, Hirose T, Mori N, Ohnishi M, et al. Usefulness of cerebral rSO₂ monitoring during CPR to predict the probability of return of spontaneous circulation. *Resuscitation.* 2019 Jun;139:201-207. doi: 10.1016/j.resuscitation.2019.04.015. Epub 2019 Apr 18. PMID: 31004721.
20. Nishiyama K, Ito N, Orita T, Hayashida K, Arimoto H, Beppu S, et al. Regional cerebral oxygen saturation monitoring for predicting interventional outcomes in patients following out-of-hospital cardiac arrest of presumed cardiac cause: A prospective, observational, multicentre study. *Resuscitation.* 2015 Nov;96:135-41. doi: 10.1016/j.resuscitation.2015.07.049. Epub 2015 Aug 17. PMID: 26291387.
21. Koyama Y, Wada T, Lohman BD, Takamatsu Y, Matsumoto J, Fujitani S, Taira Y. A new method to detect cerebral blood flow waveform in synchrony with chest compression by near-infrared spectroscopy during CPR. *Am J Emerg Med.* 2013 Oct;31(10):1504-8. doi: 10.1016/j.ajem.2013.07.002. Epub 2013 Aug 19. PMID: 23969279.
22. Schewe JC, Thudium MO, Kappler J, Steinhagen F, Eichhorn L, Erdfelder F, et al. Monitoring of cerebral oxygen saturation during resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: a feasibility study in a physician staffed emergency medical system. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2014 Oct 5;22:58. doi: 10.1186/s13049-014-0058-y. PMID: 25286829; PMCID: PMC4196010.