



Universidad
Francisco de Vitoria
UFV Madrid
*Escuela Internacional
de Doctorado*

Doctorado en Biotecnología, Medicina y Ciencias Biosanitarias
Escuela Internacional de Doctorado
Universidad Francisco de Vitoria

TESIS DOCTORAL

NIVELES DE CAPNOMETRÍA COMO INDICADOR DE VALIDEZ DE LOS DONANTES EN ASISTOLIA NO CONTROLADA (DANC) Y DE LA EVOLUCIÓN DE SUS INJERTOS RENALES TRASPLANTADOS

AUTOR

Carlos Rubio Chacón

DIRECTORES DE TESIS

**Andrés Amado Belmonte
Alonso Mateos Rodríguez**

Febrero 2025
Pozuelo de Alarcón (Madrid)



Universidad
Francisco de Vitoria
UFV Madrid
*Escuela Internacional
de Doctorado*

Doctorado en Biotecnología, Medicina y Ciencias Biosanitarias
Escuela Internacional de Doctorado
Universidad Francisco de Vitoria

TESIS DOCTORAL

**NIVELES DE CAPNOMETRÍA COMO
INDICADOR DE VALIDEZ DE LOS DONANTES
EN ASISTOLIA NO CONTROLADA (DANC)
Y DE LA EVOLUCIÓN DE SUS INJERTOS
RENALES TRASPLANTADOS**

AUTOR

Carlos Rubio Chacón

DIRECTORES DE TESIS

**Andrés Amado Belmonte
Alonso Mateos Rodríguez**

Febrero 2025
Pozuelo de Alarcón (Madrid)

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	7
RESUMEN	9
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	15
Donación y trasplante de órganos	16
<i>Evolución de la donación y del trasplante</i>	16
<i>Legislación española</i>	18
Donación en asistolia	19
<i>Origen</i>	19
<i>Situación actual de la donación en asistolia a nivel mundial</i>	21
Donación en en asistolia no controlada	21
<i>Donación en asistolia no controlada en España</i>	21
<i>Donación en asistolia no controlada en la Comunidad de Madrid</i>	23
Servicios de urgencias y emergencias médicas	24
<i>Aspectos generales de la asistencia en urgencias y emergencias</i>	24
<i>Los servicios de emergencias médicas en España</i>	24
<i>Los servicios de emergencias médicas en la Comunidad de Madrid</i>	25
Procedimiento de DANC en el SUMMA 112	27
<i>Protocolo inicial</i>	27
<i>Protocolo tras COVID-19</i>	29
<i>Uso de la capnografía en la DANC</i>	31
OBJETIVOS	35
Hipótesis	36
Objetivos primarios del estudio	36
Objetivo secundario del estudio	36
MATERIAL Y MÉTODOS	37
Diseño del estudio	38
Población de estudio	38
Recogida de datos	38
Codificación de datos	44
Análisis de datos	44
Protección de datos	45

RESULTADOS	47
Análisis del proceso de donación	48
<i>Descripción general del proceso de donación</i>	48
<i>Trazabilidad de los órganos</i>	49
Donantes	51
<i>Descripción general de los donantes y factores de riesgo</i>	51
<i>Traslado de los servicios de emergencia</i>	52
<i>Tiempos en el ámbito extrahospitalario durante el proceso de donación</i>	55
<i>Capnometría y viabilidad de los donantes</i>	56
Análisis multivariable de los factores prehospitales que pueden influir en la validez de un DANC	58
Receptores renales	61
<i>Características generales de los receptores renales</i>	61
<i>Creatinina y proteinuria</i>	62
<i>Función renal</i>	63
<i>Supervivencia injerto y paciente</i>	64
Análisis de la evolución de la función renal y su relación con la capnometría del donante	64
DISCUSIÓN.....	73
<i>Modelo predictivo de viabilidad de un DANC</i>	76
<i>Influencia de la capnometría en la función renal de los riñones de DANC</i>	77
<i>Supervivencia injerto renal y paciente</i>	78
<i>Limitaciones del estudio</i>	79
CONCLUSIONES.....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	83
ÍNDICE DE FIGURAS	89
ÍNDICE DE TABLAS	91
GLOSARIO	93
ANEXO.....	95
Anexo I. Publicaciones relacionadas con este proyecto	96

AGRADECIMIENTOS

A mis directores, el Doctor Amado Andrés y el Doctor Alonso Mateos, por su cariño, cercanía y paciencia durante todo el proceso de la tesis, enseñándome a disfrutar de la investigación y descubriéndome con pasión el maravilloso mundo de la donación.

Al Dr. Fernando Neria, por su apoyo en la metodología, análisis y elaboración de los resultados, aportando ideas y opiniones clave para el desarrollo de este trabajo y de las publicaciones.

A los integrantes de la Coordinación de Trasplantes del Hospital Universitario 12 de Octubre, del Hospital Universitario Clínico San Carlos y de la Oficina Regional de Trasplantes, por hacerme sentir uno más y ayudarme con la recogida de datos.

A mis compañeros del SUMMA 112, sin vuestro trabajo y esfuerzo diario, este estudio no podría haberse realizado.

A mis padres, por los sacrificios que habéis tenido que realizar para que podamos ser mejores personas y enseñarme la tenacidad como herramienta para conseguir los objetivos.

A Carlos, mi hijo, por enseñarme de nuevo los pequeños detalles de la vida y a cuestionarme cada día el porqué de las cosas. A mis dos hijas, que están en camino, sois nuestra nueva revolución.

Por último, Sara, por tu apoyo incondicional y por todas las horas robadas durante estos años, eres mi ejemplo a seguir. Nunca podré agradecerte toda tu comprensión y paciencia durante este largo camino.

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

El trasplante renal es la mejor terapia sustitutiva para los enfermos con enfermedad renal crónica (ERC) terminal. Sin embargo, la escasez de donantes limita la realización de este procedimiento. Por ello, hay una constante búsqueda de nuevas vías para aumentar el número de donantes. La donación en asistolia no controlada (DANC) es un programa que ha demostrado su eficacia, aumentando el número de donantes y ofreciendo injertos renales que, una vez trasplantados, muestran unos resultados a largo plazo similares a los trasplantes de donantes estándar en muerte encefálica. Sin embargo, debido a la precaria perfusión a la que están sometidos los órganos en el procedimiento de DANC, más de un 35% de los riñones obtenidos de estos donantes no son viables y han de ser desechados, la mayoría de ellos, por cambios isquémicos.

La capnometría, es un método no invasivo que mide la presión parcial espirada de CO₂ y nos proporciona información del metabolismo celular. Se utiliza en la parada cardiorrespiratoria (PCR) para conocer la perfusión periférica de los tejidos. Los niveles de capnometría en el procedimiento de DANC pueden ser una herramienta predictora de donantes válidos (que generan al menos un riñón que se trasplanta) y de la evolución de estos injertos renales trasplantados.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio es analizar si los valores de capnometría en los potenciales donantes de asistolia no controlada son predictores de la validez de los donantes y de la evolución, a corto plazo, de sus injertos renales viables trasplantados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio observacional, ambispectivo, que relaciona los niveles de capnometría de los DANC con la validez de los donantes y la evolución de sus injertos renales viables trasplantados en los receptores durante el primer año post trasplante.

Este estudio ha tenido lugar en la Comunidad de Madrid, entre enero del 2018 hasta diciembre del 2023 y han intervenido: Hospital Universitario 12 de Octubre, Hospital Universitario Clínico San Carlos, SUMMA 112, SAMUR- PC y Cruz Roja.

Además de los valores de la capnometría, se evaluaron variables del proceso de DANC del ámbito extrahospitalario, como las características clínicas y epidemiológicas del donante

y los tiempos de isquemia que pudieran tener relación con la validez de los donantes, y otras variables relacionadas con el receptor y los resultados del trasplante renal, como la no función primaria, el retraso en la función del injerto, el número de diálisis postrasplante, el tiempo hasta la recuperación de la función renal y los valores analíticos indicativos de la función renal durante el primer año de evolución.

RESULTADOS

Se recogieron un total de 74 pacientes trasladados por los servicios de emergencias médicas (SEM), de los que se perdieron 5 por negativa familiar. De estos 69 potenciales donantes, finalmente, 43 fueron donantes no válidos (no generaron riñones viables para trasplante) y 26 fueron donantes válidos (con algún riñón trasplantado), obteniéndose 49 órganos viables para trasplante (45 riñones, 2 pulmones y 2 hígados).

La mediana de edad fue menor en los donantes válidos frente a los que no lo fueron (46.5 frente los 51.0 años, $p < 0.02$), el porcentaje de utilización del cardiocompresor mecánico y de pacientes con recuperación transitoria del pulso en algún momento de la PCR fue mayor en los donantes válidos. Respecto a la capnometría, sus valores iniciales y en la transferencia, fueron más elevados en los donantes válidos frente a los no válidos (24,5 mmHg versus 16 mmHg en la inicial; $p < 0.078$ y 26 mmHg versus 15 mmHg en la transferencia; $p < 0.004$). El punto de corte óptimo de los niveles de capnometría que presentó una mayor sensibilidad y especificidad para discernir entre donantes válidos y no válidos fue de 17 mmHG en la transferencia. En el modelo multivariante diseñado con siete variables para ver la probabilidad de obtener un donante válido, resultaron ser variables significativas: la utilización de cardiocompresión mecánica (OR 14.2, p -valor < 0.009), la recuperación transitoria del pulso en algún momento durante la PCR (OR 19, p -valor < 0.013), los donantes con menor edad (OR 1.09, p -valor < 0.026) y los valores de capnometría en la transferencia altos (OR 1.08, p -valor 0.012). No resultaron variables significativas en este modelo, el sexo del donante, la causa de muerte cardiaca y el tiempo de RCP avanzada. Teniendo en cuenta la influencia de estas siete variables en la validez de los donantes, se desarrolló un score que denominamos "Índice de Validez" para predecir los donantes no válidos, siendo las puntuaciones inferiores a 4.366, las que determinaban su no validez.

En cuanto a la evolución de la función de estos injertos una vez trasplantados, los valores elevados de capnometría en la transferencia se relacionaron con menor retraso de la función del injerto renal (definido como la necesidad de diálisis en la primera semana postrasplante) (26 mmHg, vs 21 mmHg, p -valor 0.004) y con menos días hasta el descenso de los valores de creatinina (31 mmHg, vs 22 mmHg p -valor 0.018). Se observó una correlación inversa y significativa entre los niveles de capnometría en la transferencia y el número de diálisis tras el trasplante (valor de Rho de -0.35) y los valores de la creatinina sérica en el día 1 y 15 postrasplante (valor de Rho de -0.48 y -0.4, respectivamente). En cuanto a la proteinuria se observó una correlación directa sólo con los valores del primer día postrasplante (valor de Rho 0.6).

CONCLUSIONES

Nuestro estudio demuestra que la capnometría en la transferencia es una herramienta útil para discriminar los donantes válidos de los que no lo son. En nuestro modelo multivariante construido con siete variables extrahospitalarias, observamos que las que pueden influir de forma independiente en la validez de los donantes son: la edad, los niveles de capnometría en la transferencia, el traslado del potencial donante con cardiocompresión mecánica y la

recuperación transitoria del pulso en algún momento de la PCR. En el score de validez construido con la influencia de estas cuatro variables, a las que se añaden el sexo del donante, la causa de muerte cardíaca y el tiempo de RCP, se aprecia que puntuaciones inferiores a 4,366 discriminan la no validez de los donantes.

La capnometría en la transferencia fue también un buen predictor de la evolución de los injertos renales viables una vez trasplantados, observándose que valores más elevados de ésta se relacionaron con menor retraso de la función del injerto y menor tiempo de recuperación de la función renal y que existía una correlación inversa entre la capnometría en la transferencia y el número de diálisis post trasplante y los niveles de creatinina sérica en los días 1 y 15 de evolución.

ABSTRACT

INTRODUCTION

Renal transplantation is the best replacement therapy for patients with end-stage chronic kidney disease (CKD). However, the shortage of donors limits this procedure. Therefore, there is a constant search for new ways to increase the number of Uncontrolled donation after circulatory death (uDCD) is a programme that has proven to be effective, increasing the number of donors and providing kidney grafts that, once transplanted, show similar long-term outcomes to standard donor transplants in brain death. However, due to the precarious perfusion to which the organs are subjected in the uDCD procedure, more than 35% of kidneys obtained from these donors are not viable and have to be discarded, most of them due to ischaemic changes.

Capnometry is a non-invasive method that measures the exhaled partial pressure of CO₂ and provides information on cellular metabolism. It is used in cardiac arrest (CA) to assess peripheral tissue perfusion. Capnometry levels in the uDCD procedure may be a predictive tool for valid donors (who generate at least one kidney to be transplanted) and for the evolution of these transplanted kidney grafts.

OBJECTIVES

The main objective of this study is to analyse whether capnometry values in potential Uncontrolled donation after circulatory death are predictors of donor validity and short-term outcome of their transplanted viable kidney grafts.

MATERIAL AND METHODS

Observational, ambispective study relating uDCD capnometry levels with donor validity and the evolution of their viable transplanted renal grafts in recipients during the first post-transplant year.

This study took place in the Community of Madrid between January 2018 and December 2023 and involved: Hospital Universitario 12 de Octubre, Hospital Universitario Clínico San Carlos, SUMMA 112, SAMUR- PC and Cruz Roja.

In addition to capnometry values, variables of the uDCD process in the out-of-hospital setting were evaluated, such as clinical and epidemiological characteristics of the donor and ischaemia times that could be related to the validity of donors, and other variables related to the recipient and the results of renal transplantation, such as primary non-function, delayed

graft function, number of post-transplant dialysis, time to recovery of renal function and analytical values indicative of renal function during the first year of evolution.

RESULTS

A total of 74 patients transferred by the Emergency Medical Services (EMS) were collected, of which 5 were lost due to family refusal. Of these 69 potential donors, 43 were invalid donors (did not generate viable kidneys for transplantation) and 26 were valid donors (with a transplanted kidney), obtaining 49 viable organs for transplantation (45 kidneys, 2 lungs and 2 livers).

The median age was lower in valid donors compared to non-valid donors (46.5 vs. 51.0 years, $p < 0.02$), the percentage of mechanical cardiocompressor use and of patients with transient pulse recovery at some point during cardiopulmonary resuscitation (CPR) was higher in valid donors. Capnometry values at baseline and at transfer were higher in valid versus invalid donors (24.5 mmHg versus 16 mmHg at baseline; $p < 0.078$ and 26 mmHg versus 15 mmHg at transfer; $p < 0.004$). The optimal cut-off point for capnometry levels with the highest sensitivity and specificity to discern between valid and invalid donors was 17 mmHg at transfer. In the multivariate model designed with seven variables to see the probability of obtaining a valid donor, the following variables were significant: the use of mechanical cardiopulmonary compression (OR 14.2, p -value < 0.009), transient pulse recovery at some point during CPR (OR 19, p -value < 0.013), younger donors (OR 1.09, p -value < 0.026) and high capnometry values at transfer (OR 1.08, p -value 0.012). Donor sex, cause of cardiac death and advanced CPR time were not significant variables in this model. Taking into account the influence of these seven variables on donor validity, a score was developed to predict invalid donors, with scores below 4.366 determining invalidity.

Regarding the evolution of the function of these grafts once transplanted, higher capnometry values at transfer were associated with less delay in renal graft function (defined as the need for dialysis in the first week post-transplant) (26 mmHg, vs 21 mmHg, p -value 0.004) and with fewer days to falling creatinine values (31 mmHg, vs 22 mmHg p -value 0.018). An inverse and significant correlation was observed between capnometry levels at transfer and number of dialysis after transplantation (Rho value of -0.35) and serum creatinine values at day 1 and 15 post-transplant (Rho value of -0.48 and -0.4, respectively). As for proteinuria, a direct correlation was observed only with the values on post-transplant day 1 (Rho value 0.6).

CONCLUSIONS

Our study demonstrates that capnometry at transfer is a useful tool to discriminate valid from invalid donors. In our multivariate model constructed with seven out-of-hospital variables, we observed that those that can independently influence donor validity are: age, capnometry levels at transfer, transfer of the potential donor with mechanical cardiopulmonary compression and transient pulse recovery at some point during CPR. In the validity score constructed with the influence of these four variables, to which donor sex, cause of cardiac death and CPR time are added, it can be seen that scores lower than 4.366 discriminate against the non-validity of the donors.

Capnometry at transfer was also a good predictor of the evolution of viable kidney grafts once transplanted, with higher values being associated with less delay in graft function and shorter recovery time of renal function, and there was an inverse correlation between capnometry at transfer and the number of post-transplant dialysis and serum creatinine levels on days 1 and 15 of evolution.

INTRODUCCIÓN

DONACIÓN Y TRASPLANTE DE ÓRGANOS

Evolución de la donación y del trasplante

El trasplante renal es el tratamiento sustitutivo de la función renal que mejor garantiza la supervivencia a largo plazo de los pacientes que desarrollan insuficiencia renal terminal, proporcionándoles, además, mejor calidad de vida que otras técnicas de depuración renal. Sus resultados hoy día son excelentes en cualquier rango de edad, superando a todas las modalidades de diálisis^{1,2,3}.

La ampliación del número de pacientes con indicación de esta terapia, sin un incremento paralelo del número de donantes, ha ocasionado un desequilibrio entre la demanda de trasplantes y los órganos disponibles, que se ha traducido en un aumento de enfermos en lista de trasplante renal, con un mayor tiempo de espera. Mientras aguardan un trasplante renal, los pacientes permanecen en diálisis expuestos a una mayor mortalidad, que puede alcanzar entre un 5% y un 10% anual, dependiendo de la franja de edad^{4,5}.

Así mismo, desde el punto de vista coste-efectivo, el aumento del tiempo en lista de espera de los pacientes con enfermedad renal crónica en tratamiento con diálisis, desencadena un aumento notable del gasto sanitario^{6,7}. Se estima que el ahorro generado por cada paciente trasplantado a partir del primer año, respecto a los que continúan en diálisis, sería por término medio de 39.706,10 euros paciente/año⁸.

La escasez de donantes de órganos para trasplante es un problema generalizado en la mayoría de países del mundo, independientemente de su grado de desarrollo. España es el líder mundial en tasa de donación de pacientes fallecidos con 48.9 donantes por millón población (pmp) en 2023, lo que permitió realizar 122.1 trasplantes de órgano sólido pmp en ese periodo de tiempo (figura 1).

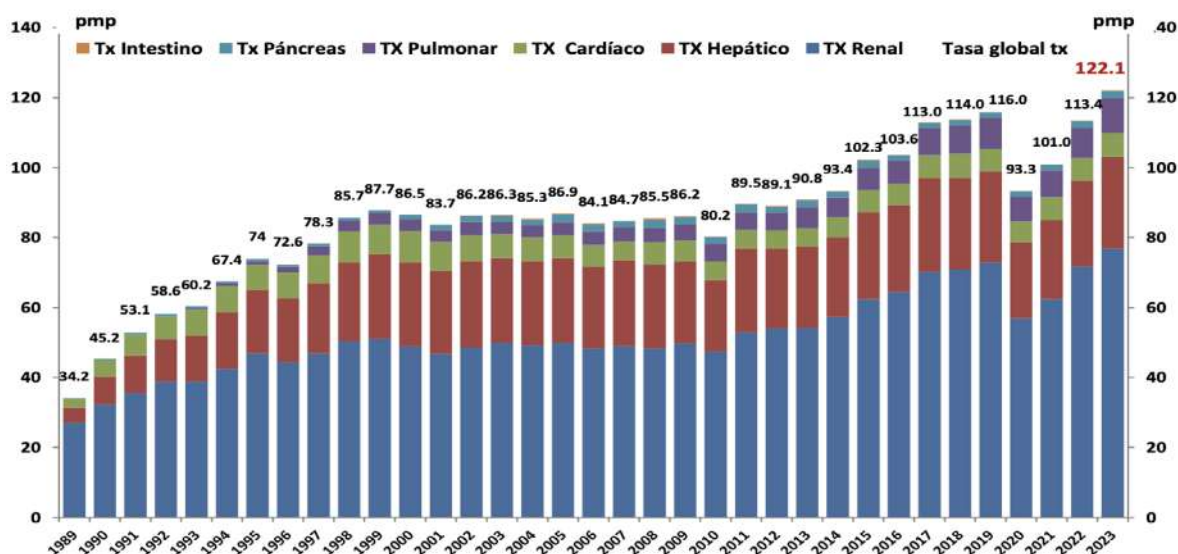


Figura 1. Evolución de la actividad trasplantadora por órganos (tasa pmp) en España 1989- 2023.

La tasa anual de donantes de órganos en España se ha mantenido con una tendencia positiva en las últimas décadas, llegando a presentar una tasa de 49 donantes de órganos por millón de habitantes en el año 2019, justo antes de la pandemia de COVID-19. Esta circunstancia saturó a todo el Sistema Nacional de Salud (SNS) afectando negativamente los programas de donación y trasplantes. En relación a lo anterior, en los años 2020 y 2021, en los que la pandemia alcanzó su mayor virulencia y mortalidad se produjo un desplome de la tasa de donación hasta cifras de 37.4 y 40.2 donantes pmp respectivamente, con una actividad trasplantadora de 93.3 trasplantes pmp en 2020 y 101.0 trasplantes pmp en 2021 (figura 2). Esta actividad fue recuperándose hasta tener datos similares a los previos a la pandemia en el año 2023⁹.

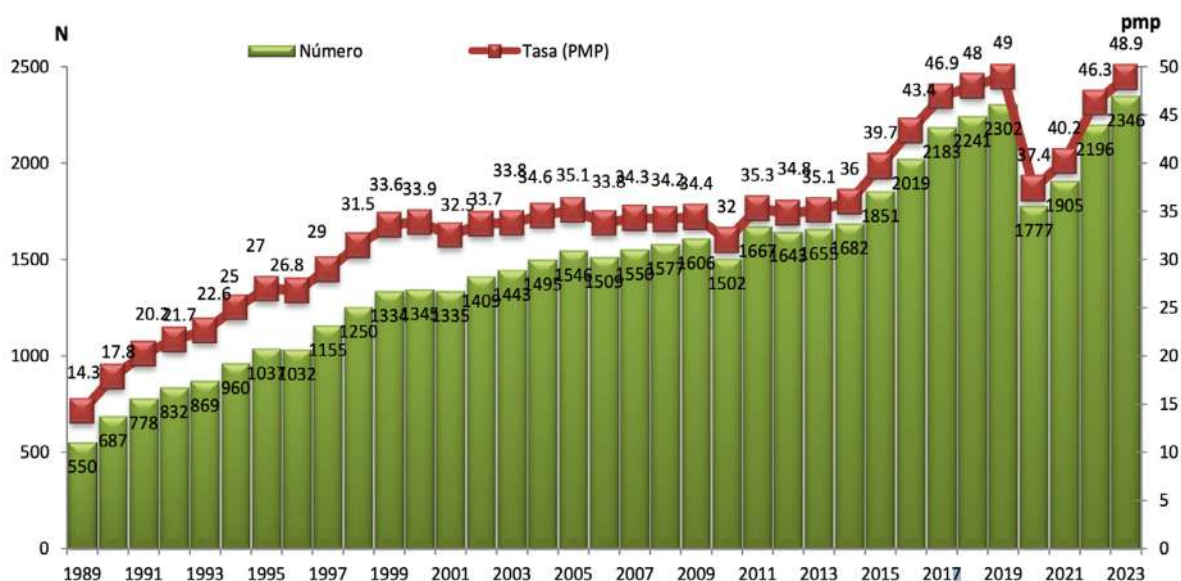


Figura 2. Número total y tasa anual (pmp) de donantes de órganos en España 1993-2023.

El exitoso Modelo Español de Trasplante está basado en una inequívoca voluntad política, que utiliza una sólida y cualificada estructura sanitaria, para desarrollar una red hospitalaria y extrahospitalaria de Coordinadores de Trasplantes altamente eficiente, que tiene como objetivo detectar posibles donantes y su transformación en donantes reales. A pesar de la eficiencia del Modelo Español de Trasplantes, se han identificado puntos de mejora en la detección y comunicación de posibles donantes, en sus técnicas de mantenimiento, en las negativas familiares y judiciales a la donación, y en la no recuperación para trasplante, de un creciente porcentaje de órganos previamente descartados.

Una vez alcanzado y superado con creces el objetivo de donación del “Plan 40” (40 donantes pmp), diseñado en la década de 2010-2020, la Organización Nacional de Trasplantes (ONT) se marcó como nuevo objetivo el “Plan 50x22”, en el que se pretendía aumentar la disponibilidad de órganos, alcanzando los 50 donantes p.m.p. y superar los 5.500 trasplantes de órganos sólidos en 2022. Sólo la irrupción de la pandemia del COVID-19 en el año 2020 lo impidió.

Este plan 50x22 pretende dar respuesta a la escasez de donantes, fomentando la donación en asistolia controlada (DAC) en todos los hospitales de la red pública, abriendo nuevos programas de donación en asistolia no controlada (DANC), en poblaciones con menos de 500.000 habitantes; promoviendo la donación de vivo, impulsando la figura del donante altruista dentro del programa de trasplante renal de vivo cruzado, regulando los procedimientos de donación tras la prestación de ayuda a morir y facilitando la cooperación en materia de donación entre las redes hospitalarias públicas y privadas⁸.

En los últimos años, el perfil de los donantes ha cambiado, apreciándose un descenso de los donantes en muerte encefálica y un aumento de los DAC, debido a un tratamiento más activo del paciente neurocrítico y a la mejora de la asistencia de los servicios de emergencias médicas (SEM). De hecho, el número de DAC está creciendo exponencialmente en los últimos años, con perspectivas de seguir aumentando¹⁰ (figura 3).

Por otra parte, los DANC, a pesar de tener una complicada logística en el proceso de donación, y de lo incierto de la viabilidad final de sus órganos para trasplante, siguen siendo una fuente de donantes con gran potencialidad de crecimiento, sobre todo si se desarrollan biomarcadores que vaticinen el éxito final del proceso de donación y el funcionamiento de los órganos de estos donantes una vez trasplantados.

En los siguientes apartados, se pormenoriza y analiza las particularidades de la donación en asistolia (DA) y su situación, tanto a nivel mundial como en España.

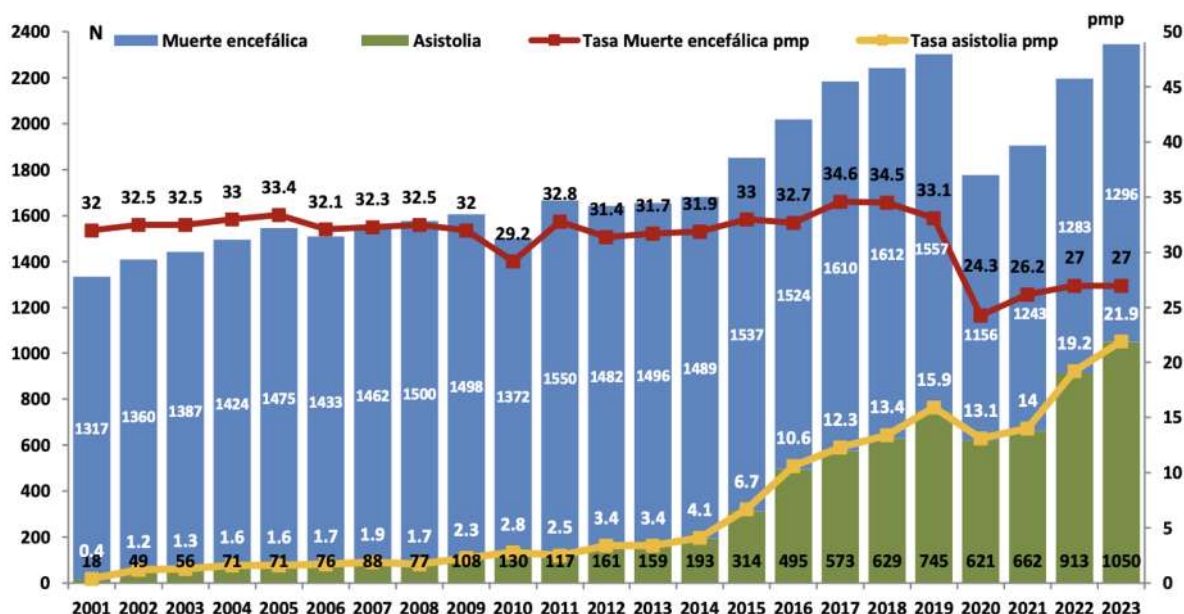


Figura 3. Número total y tasa anual (pmp) de donantes de órganos según el tipo de donante en España 2001-2023.

Legislación española

España, a lo largo de su historia, ha sido un país muy propicio a la donación de órganos con desarrollos legislativos y estructurales pioneros sobre la base de la primera Ley de Trasplantes del año 1979¹¹, en el que se destacaba que *“todos somos donantes si en vida*

no hemos expresado oposición a la donación". Esta ley ha permitido la elaboración de varios Reales Decretos, siendo dos de ellos clave para el desarrollo de la DA en nuestro país. El primero es el RD 2070/1999, "por el que se regulan las actividades de obtención de órganos y utilización de órganos humanos y la coordinación en materia de donación y trasplante de órganos y tejidos" tanto en la donación en muerte encefálica (DME) como en DANC y el segundo el RD 1723/2012, que contempla por primera vez la DAC¹².

Además de este desarrollo legislativo, en 1995 se impulsó la DA mediante el Documento de Consenso sobre la Extracción de Órganos de Donantes en Asistolia, en el que se contemplaba una serie de cambios y mejoras en los aspectos técnicos, éticos y legales.

En este contexto, se iniciaron los programas de DANC, gracias a la colaboración entre los hospitales, los SEM y las Coordinaciones de Trasplantes.

DONACIÓN EN ASISTOLIA

Origen

Los primeros casos de DA tuvieron lugar en la primera mitad del siglo XX. Sin embargo, los nefastos resultados obtenidos debido a los problemas en las técnicas de preservación y la inmunosupresión, llevaron a desechar este tipo de donación. Además, el reconocimiento médico y legal de la muerte encefálica como muerte del individuo proporcionó una fuente ideal de órganos de donantes fallecidos con corazón latiente, sin problemas de preservación, que hizo olvidar temporalmente la donación en asistolia¹³.

En la década de los años 80 del siglo XX, los órganos para trasplante procedentes de los DME proporcionaban buenos resultados, pero eran insuficientes para atender la demanda de trasplantes. Por ello, múltiples grupos, en Europa y en EEUU, continuaron trabajando en el desarrollo de la DA, promovidos por la mejoría en las técnicas quirúrgicas, la preservación de órganos y la inmunología¹⁴, con resultados esperanzadores que finalmente impulsaron estos programas.

Sin embargo, la actividad de DA no era uniforme entre los distintos países y hospitales. La dificultad para delimitar la DA, según donde se producía la parada cardiorrespiratoria (PCR) y los tiempos de isquemia caliente que conllevaba, junto a las incertidumbres éticas y legales, y la diversidad de los procedimientos asistenciales utilizados, justificaron una reunión de expertos para llegar a un consenso en la definición, descripción y estructuración de este procedimiento.

Con este fin, se realizó en 1995 la conferencia en *Maastricht*, que permitió clasificar a los donantes en asistolia en cuatro grupos, dependiendo de las circunstancias en las que se producía la PCR y de su atención inicial¹⁵. Esta reunión permitió esclarecer las bases y el lenguaje común en torno al que trabajan los equipos de trasplantes internacionales (tabla 1).

A pesar del uso de esta clasificación en todo el mundo, la realidad en España era compleja y no mostraba con claridad el tipo de DA que se desarrollaba en cada momento. La diferencia de resultados en los órganos procedentes de DANC y de DAC, obligó a diferenciar entre las paradas cardiorrespiratorias extrahospitalarias e intrahospitalarias¹⁶.

Por todo lo anterior, para revisar y clarificar esta distribución se reunieron un grupo de expertos en Madrid, estableciendo una nueva clasificación denominada, clasificación de *Maastricht* modificada (Madrid 2011)¹⁷. En este nuevo documento se dividió el tipo II, dependiendo de su origen, en IIa cuando el donante es de origen extrahospitalario y IIb intrahospitalario^{17,18,19}. Un año después, se realizó una nueva reunión, en París, con el objetivo de

clasificar el tipo I, también según el lugar donde se produce el fallecimiento. Sin embargo, la donación en asistolia tipo I es intrascendente, ya que los potenciales donantes de origen extrahospitalario tipo I, son sólo candidatos a donación de tejidos. En España, no ha habido ninguna donación de órganos procedente de este tipo de donante.

La terminología respecto a la DA, ha ido evolucionando en el transcurso de las últimas décadas. En un primer momento, la nomenclatura utilizada fue *non-heart-beating donors*, cuyo término era impreciso, ya que se refería al fallecimiento mediante la irreversibilidad de la función cardíaca y no por criterios cardiorrespiratorios. Posteriormente, la terminología fue modificada por *donation after cardiac death donors*, *donation after cardiocirculatory death donor*, hasta llegar a la actual *donation after circulatory determination of death (DCD)*, donación tras la determinación de muerte cardiocirculatoria⁹. La nomenclatura que se utiliza en España y utilizaremos será donación en asistolia.

TABLA 1.
Clasificación de Maastricht modificada (Madrid, 2011)

DONACIÓN NO CONTROLADA	I	Falleció a la llegada	Incluye víctimas de una muerte súbita, traumática o no, acontecida fuera y que son trasladadas al hospital sin medidas de resucitación.
	II	Resucitación infructuosa	Incluye pacientes que sufren una parada cardíaca y son sometidos a maniobras de reanimación que resultan no exitosas. En esta categoría se diferencian dos subcategorías: Ila. Extrahospitalaria La parada cardíaca ocurre en el ámbito extrahospitalario y es atendida por el servicio de emergencias extrahospitalario, quien traslada al paciente al hospital con maniobras de cardiocompresión y soporte ventilatorio. Ilb. Intrahospitalaria La parada cardíaca ocurre en el ámbito intrahospitalario, siendo presenciada por el personal sanitario, con inicio inmediato de maniobras de reanimación.
DONACIÓN CONTROLADA	III	A la espera del paro cardíaco	Incluye pacientes a los que se aplica limitación del tratamiento de soporte vital tras el acuerdo entre el equipo sanitario y éste con los familiares o representantes del enfermo.
	IV	Paro cardíaco en muerte encefálica	Incluye pacientes que sufren una parada cardíaca mientras se establece el diagnóstico de muerte encefálica o después de haber establecido dicho diagnóstico, pero antes de que sean llevados a quirófano. Es probable que primero se trate de restablecer la actividad cardíaca pero, cuando no se consigue, puede modificarse el proceso al de donación en asistolia.

Situación actual de la donación en asistolia a nivel mundial

La DA constituye una fuente importante de órganos cuyo objetivo principal es aumentar el número de donantes efectivos y disminuir el número de receptores pendientes de un órgano. Este tipo de programa, se presenta como una estrategia fundamental para aumentar el número de órganos para trasplante. Su consolidación es consecuencia de los excelentes resultados demostrados a lo largo de su dilatada historia²⁰.

Clásicamente se consideraba que los órganos obtenidos de los DA presentaban peores resultados que los procedentes de DME, pero distintos grupos a nivel mundial, han ido presentando resultados equiparables entre los dos tipos de donación²¹.

Los resultados de los programas de DA, han sido desiguales entre los distintos países, dependiendo de su localización geográfica y de sus diferentes bases éticas, legales y sistemas de organización. Conforme a los informes del Observatorio Global de Donación y Trasplante, en el año 2022 se reportaron un total de 9.282 donantes en asistolia a nivel mundial, produciéndose un aumento del 12% respecto al 2021 y prevaleciendo la categoría tipo III de Maastricht (DAC)²².

La DAC es un tipo de donación que ha experimentado un importante crecimiento, con extraordinarios resultados, gracias al trabajo realizado, principalmente, en países anglosajones como EEUU donde alcanzó en 2022 una tasa de donantes por millón de habitantes de 14.27. En Europa, este tipo de donación predomina en países como el Reino Unido y Holanda, con una tasa de donantes por millón de habitantes de 9.43 y 10.06 respectivamente.

En España, según datos de la ONT, ha sido extraordinaria la expansión del número de donantes en asistolia en los últimos 10 años. En 2023 hubo un total de 2.346 donantes, de los cuales 1.050 (44.7%) eran donantes en asistolia, la mayoría DAC. Estas cifras de DA supusieron un récord histórico con 21.9 donantes pmp, un 15% de aumento respecto al 2022. Estos magníficos resultados, son consecuencia del trabajo de todos los profesionales en los más de 120 hospitales que realizaron este tipo de donación⁹.

Por otro lado, la DANC históricamente ha tenido impacto en la actividad de donación, en España y Francia, con una legislación y unos procedimientos establecidos, pioneros y referentes a nivel mundial.

DONACIÓN EN ASISTOLIA NO CONTROLADA

Donación en asistolia no controlada en España

La DANC ha supuesto en nuestro país una fuente muy importante de órganos a lo largo de las últimas décadas, llegando a ser el tipo de donación predominante en la DA hasta el año 2015, momento en el que la DAC presentó cifras de donación superiores a la DANC. Este aumento exponencial en la actividad de la DAC está en estrecha relación con la entrada en vigor del RD 1723/2012¹².

La DANC ha presentado una tendencia plana e incluso negativa en los últimos años. Además de la complejidad logística y de la incertidumbre en la viabilidad de los órganos ya comentadas anteriormente, sin duda hay otras causas de este descenso en la DANC que están en proceso de estudio y que pueden tener relación con la disminución de la muerte súbita en personas jóvenes. En el año 2012, la DANC representaba el 8.3% del total de donaciones, mientras que en 2023 solamente el 0.8%⁹ (figura 4).

Se trata de un programa costoso a nivel de recursos materiales y humanos, en el que múltiples variables influyen en el resultado, tanto de la donación como del trasplante. Es un programa en el que tiene una enorme influencia los tiempos desde que se produce la

PCR, siendo fundamental una óptima labor profesional en cada uno de los eslabones de la cadena de la donación, desde la intervención del SEM hasta el proceso quirúrgico, para disminuir al máximo los daños inducidos sobre los órganos por los tiempos de isquemia^{23,24}.

La DANC es un tipo de donación que ha demostrado su eficacia, aumentando el número de trasplantes con unos excelentes resultados. No obstante, es un programa complejo, en el que intervienen múltiples equipos que tienen que manejar numerosas variables que son críticas para obtener órganos viables para trasplante. De hecho, los órganos procedentes de estos donantes están sometidos a un estrés isquémico muy superior a los órganos procedentes de otros tipos de donantes. Esto genera mayor incertidumbre en la predicción de la viabilidad y el funcionamiento de estos órganos a corto y largo plazo. Sin duda, esta combinación de complejidad logística e incertidumbre en la viabilidad de los órganos donados, es lo que ha producido una disminución del número de donantes procedentes de DANC^{25,26}.

El análisis pormenorizado de los programas de DANC es fundamental para identificar los puntos de mejora en el proceso e implementar medidas correctoras dirigidas a la logística y a la identificación de las variables que nos predigan de la forma más exacta la viabilidad de los órganos donados. La identificación y selección de posibles donantes, el análisis de los diferentes tiempos de isquemia caliente de los órganos, desde que se produce la PCR, y la optimización de los métodos de preservación de los órganos, son algunas de las medidas a considerar para mejorar los programas de DANC. Además, en el desarrollo de estos programas es muy importante impulsar la investigación, la comunicación con las familias y la divulgación de la donación en medios de comunicación⁸.

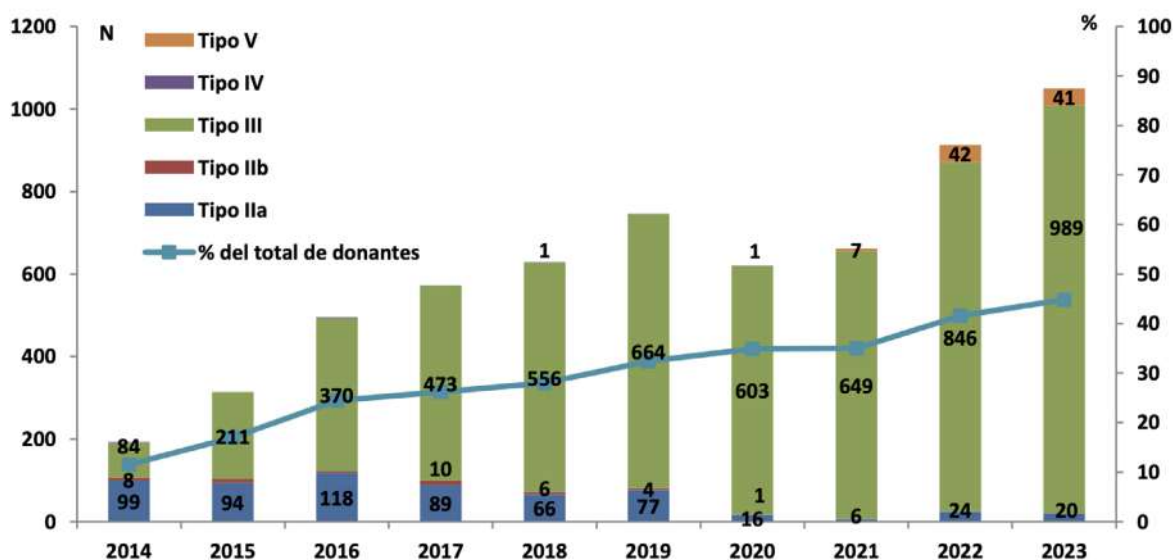


Figura 4. Evolución del número de asistolia en función del tipo de donación (Maastricht) y del porcentaje de los donantes en asistolia sobre el total de donantes, en España 2014-2023.

A pesar de las dificultades del procedimiento, hay 13 programas de DANC implantados en nuestro país, en distintas Comunidades Autónomas, cada uno con sus protocolos individualizados.

El primer programa de DANC, lo abrieron en Barcelona en 1986 en el Hospital Clínic Barcelona y en el SEM de Cataluña. Posteriormente, durante la década de 1990, se incorporaron otros dos hospitales junto a los servicios de emergencias municipales o de la Comunidad Autónoma: Hospital Clínico San Carlos-SAMUR, y el Complejo Hospitalario Universitario A Coruña - 061 de Galicia. Aunque la actividad de la DANC se inició en ciudades con una población superior a los 500.000 habitantes, los excelentes resultados obtenidos, llevaron a la apertura de este procedimiento en urbes menos pobladas, como Alicante y Granada, en los hospitales de San Joan y Virgen de Las Nieves, respectivamente con sus servicios de emergencia extrahospitalaria correspondientes.

Actualmente en España tenemos activos los siguientes programas de DANC: Hospital Universitario 12 de Octubre-SUMMA 112, SAMUR-PC y SESCAM, Hospital Clínico San Carlos- SUMMA 112 y SAMUR-PC, Hospital San Juan de Alicante- SAMU, Hospital Virgen de Las Nieves de Granada- 061 Andalucía, Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, Hospital Universitario La Fe de Valencia- SAMU, Hospital San Pedro de Alcántara y Donosti- Ospitalea^{9,22,27}.

Donación en asistolia no controlada en la Comunidad de Madrid

Respecto a la Comunidad de Madrid, la DANC ha seguido la misma tendencia que en el resto España. Presentó un incremento de donantes hasta el año 2010, momento en el que comenzó un descenso paulatino hasta la actualidad. El descenso radical de la DANC en los últimos años tiene que ver con el cierre del programa durante la pandemia COVID-19 en los años 2020 y 2021. Este procedimiento contrasta con el número de donantes en DAC, que fue aumentando año tras año (figura 5).

En los años previos a la pandemia, el número de donantes en DANC se mantenía estable, incluso con cierto incremento hasta marzo del 2020, momento que se interrumpió el procedimiento de DANC. Se reactivó la DANC en la Comunidad de Madrid en junio del 2021, pero con limitaciones que no han favorecido el rendimiento óptimo de este programa²⁸. El número de donantes válidos, procedentes del programa de DANC fueron 3, tanto en el año 2022 como en el 2023, lo que constituye un 1.4% y 1.1% del total de las donaciones que se realizaron durante este periodo en la Comunidad de Madrid.

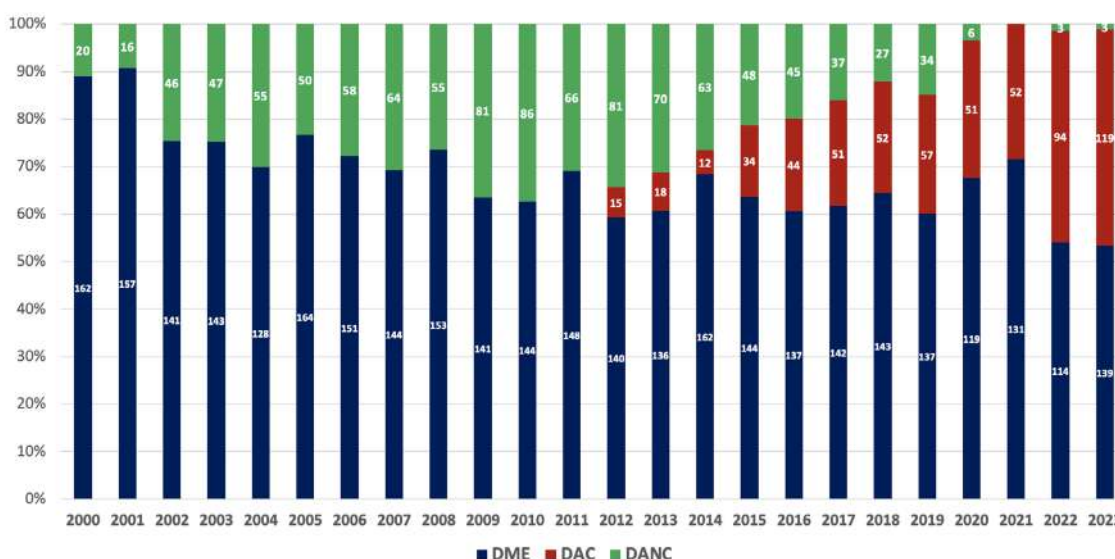


Figura 5. Clasificación por tipo de donante en la Comunidad de Madrid.

SERVICIOS DE URGENCIAS Y EMERGENCIAS MÉDICAS

Aspectos generales de la asistencia en urgencias y emergencias

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), urgencia se define como “la aparición fortuita, en cualquier lugar o actividad, de un problema de causa diversa y gravedad variable que genera la conciencia de una necesidad inminente de atención por parte del sujeto que lo sufre o de su familia”, mientras que emergencia médica se considera a “toda aquella situación que requiere de una asistencia sanitaria precoz e inmediata, considerando que, la falta de esta asistencia podría poner en riesgo la vida del paciente”.

La atención sanitaria de las urgencias y emergencias se desarrolla principalmente en dos lugares bien diferenciados. Por un lado, en los servicios de urgencias hospitalarias (SUH), donde se atienden a todo tipo de pacientes desde patologías banales hasta las patologías graves y emergentes. Por otro lado, están los servicios de urgencias extrahospitalarias (SUEH), que a su vez se pueden dividir en los dispositivos fijos y móviles. Estos dispositivos fijos, engloban tanto la asistencia de urgencia que se realiza en los centros de salud por parte de los médicos de familia durante su jornada laboral, como la continuidad asistencial fuera de este horario por parte de los SUEH. Los dispositivos móviles son unidades de atención básica y unidades de soporte vital avanzado (SVA). Se utilizará uno u otro dependiendo del nivel de prioridad asistencial²⁹.

Todo este complejo engranaje, se basa en un concepto fundamental: la continuidad asistencial entre las urgencias extrahospitalarias y la asistencia hospitalaria, principalmente en las situaciones en las que nos enfrentamos a una patología crítica que precisa de una excelente coordinación entre los distintos servicios para mejorar el pronóstico del paciente.

Los SEM son organismos que desarrollan un conjunto de actividades asistenciales y no asistenciales, siempre proporcionadas y coordinadas. Toda emergencia médica detectada y considerada como tal es analizada, con el fin de determinar la necesidad de movilización de alguno de los dispositivos, tanto para la asistencia in situ como para el traslado al centro sanitario idóneo que continúe con el tratamiento definitivo.

El impulso de los SEM surge de la necesidad de disminuir la elevada morbilidad y mortalidad que se producía a nivel extrahospitalario, principalmente con los siniestros viales y con enfermedades como la cardiopatía isquémica. Una asistencia extrahospitalaria temprana y de calidad determina una mejora en el pronóstico y evolución de los pacientes con enfermedades cuyo tratamiento es tiempo dependiente.

Los servicios de emergencias médicas en España

Los servicios de emergencias médicas extrahospitalarias en España iniciaron su andadura, en la década de los ochenta del siglo XX, sobre la base de un sólido SNS, y siguiendo la estela de otros Servicios de Emergencias, en ese momento activos, como la Cruz Roja, la Seguridad Social y el voluntariado de la seguridad vial.

La creación del número de teléfono 061, gracias a un informe del Defensor del Pueblo y del Comité Europeo de Salud en 1988, junto con el desarrollo en la década de los noventa del RD 903/1997 que fomentaba el acceso a las urgencias y emergencias a través del 112, impulsó la integración de los SEM en los centros 112. El Parlamento Europeo mediante la directiva 98/10/EC implantó el 26 de febrero de 1998 la universalización del número 112 como acceso a los SEM, mediante contacto telefónico³⁰.

La transferencia de competencias por parte del INSALUD a las Comunidades Autónomas en el año 2001, promovió distintos modelos de gestión, legislación y organización de los

SEM, cada uno con sus propias características, pero con un núcleo común: la asistencia de las emergencias por parte del personal sanitario. La gestión de estos servicios se realiza mediante empresas públicas, fundaciones o directamente por la consejería correspondiente.

Además, se produjo un afianzamiento de estos procedimientos, gracias al RD 103/2006 por el que se constituía la cartera de servicios comunes del SNS, detallando las prestaciones en urgencias y emergencias.

En el artículo 15, de la Ley 16/2003 de 28 de mayo de Cohesión y Calidad, del SNS, se establece que: “la atención de urgencia se presta al paciente en casos en que su situación clínica obliga a una atención inmediata. Se dispensará tanto en centros sanitarios como fuera de ellos, incluyendo el domicilio del paciente, durante las 24 horas del día, mediante la atención médica y de enfermería”.

En los más de 20 años transcurridos desde la instauración de los SEM se ha producido un gran avance y desarrollo de los mismos, ofreciendo una asistencia extrahospitalaria de calidad y una excelente cobertura poblacional. Su actividad ha mejorado el pronóstico de las patologías urgentes, disminuyendo su tasa de mortalidad.

Los SEM son un eslabón fundamental en la cadena asistencial del paciente con una patología urgente, garantizando una continuidad entre la urgencia prehospitalaria y hospitalaria. Su objetivo principal es disminuir la morbilidad y mortalidad de los pacientes que sufren una urgencia o emergencia, ofreciéndoles una asistencia de calidad, eficiente y apropiada.

Los servicios de emergencias médicas en la Comunidad de Madrid

En la Comunidad de Madrid hay dos servicios de emergencias médicas. Por un lado, el Servicio de Urgencias Médicas de la Comunidad de Madrid (SUMMA 112) constituida como una Gerencia dependiente de la Viceconsejería de Asistencia Sanitaria de la Consejería de la Comunidad de Madrid y por el otro lado, el Servicio de Asistencia Municipal de Urgencias y Rescate Protección Civil (SAMUR- PC), dependiente del Área de Gobierno de Seguridad y Servicios del Ayuntamiento de Madrid. El ámbito de asistencia sanitaria del SUMMA 112 abarca toda la Comunidad de Madrid a excepción de los incidentes que ocurren en la vía pública del Municipio de Madrid, que los atiende el SAMUR-PC.

SAMUR-PC presta su actividad asistencial en el municipio de Madrid. Comenzó su actividad en el año 1991 y a partir del año 2015 se convirtió en SAMUR-PC, adquiriendo también responsabilidades docentes como formación de la ciudadanía en primeros auxilios y cobertura de servicios preventivos.

SUMMA 112 presta su asistencia sanitaria en el ámbito de la Comunidad de Madrid, que tiene una superficie de 8.028 km² y una población censada en 2023 de 7.000.621 habitantes. De esta población, la franja etaria más numerosa es la que va de los 15 a los 64 años, con un 67.29% del total de residentes, aunque destaca también la población mayor de 65 años, que está en un progresivo incremento y actualmente supone un 18.43% del total³¹.

Según el RD 48/2003 de 3 abril, por el que se modifica el RD 197/2002, de 26 de diciembre (que establecía la estructura orgánica del Instituto Madrileño de Salud), se constituye el Servicio de Urgencias Médicas de Madrid 112 como Gerencia independiente, para mejorar su operatividad. El SUMMA 112 queda constituido, en el año 2003, mediante la fusión de las Urgencias Externas- UVI Móvil 061 y el SERCAM.

La misión del SUMMA 112 es principalmente atender las urgencias, emergencias, catástrofes y situaciones especiales que ocurran en la Comunidad de Madrid, aunque también tiene encomendada la gestión del transporte sanitario urgente y no urgente, y la coordinación entre los distintos niveles asistenciales.

El número de llamadas realizadas en el año 2023, al 112 o 061 fue de 1.204.256, lo que supone 3300 llamadas al día de media, es decir una llamada cada 23 segundos. Esta cifra es ligeramente menor a la de los años anteriores, con una variación negativa de 1.12% respecto al 2022.

Como consecuencia de todas estas llamadas, durante el año 2023 se movilizaron un total 559.829 recursos, de los cuales 114.834 correspondieron a unidades de soporte vital avanzado (UVI y VIR), y 1070 a helicóptero sanitario, corroborando un descenso de movilizaciones del 1 % respecto al año 2022.

Los Códigos Asistenciales, son procesos urgentes, tiempo dependiente, que precisan un traslado inmediato del paciente al hospital idóneo según su patología. Hay una llamada informativa del Centro Coordinador al hospital receptor comunicando los datos clínicos del enfermo, su localización y el tiempo estimado de llegada del SVA al hospital. Estos Códigos favorecen la coordinación entre los SEM y los servicios hospitalarios, para garantizar la continuidad asistencial, mejorando la organización y planificación de la asistencia en el servicio del hospital receptor, con el objetivo de disminuir las comorbilidades y aumentar la supervivencia del paciente.

Algunos de los Códigos Asistenciales que se realizan en el SUMMA 112 son: Código Infarto, Código Ictus, Código PCR, Código Sepsis, Código Trauma, Código Aorta, Código TEP, Código Visem y Código 0. Estos códigos tuvieron 4.834 activaciones durante el año 2023, cifra similar a años previos, destacando la alerta hospitalaria de Código Ictus con 2479 procedimientos y el Código Infarto con 1306.

Respecto al Código 0, Código Donación, se activa por el médico del equipo asistencial del SVA en el momento que una resucitación cardiopulmonar (RCP) de una PCR se considera fútil y el paciente cumple los criterios para DANC. Durante el año 2021 se reactivó el Código 0, tras su suspensión por la pandemia de COVID-19 en febrero de 2020. Pese a todas estas vicisitudes, en ese mismo año 2021, se realizaron un total de 16 alertas hospitalarias de posibles donantes³².

El SUMMA 112, tiene dos Centros Coordinadores, uno de ellos está ubicado en Madrid 112 y el otro en el Hospital Enfermera Isabel Zendal. Para realizar su actividad diaria cuenta con la siguiente dotación de vehículos y personal:

- 29 unidades medicalizadas de emergencias, con capacidad de traslado:
 - 26 unidades soporte vital avanzado, compuesta por 1 médico, 1 enfermero y 2 técnicos en emergencias sanitarias (TES).
 - 3 unidades de soporte vital avanzado de enfermería (SVAE), compuesta por 1 enfermero y 2 TES.
- 18 vehículos de intervención rápida (VIR), compuesta por 1 médico, 1 enfermero y 1 TES.
- 2 helicópteros sanitarios medicalizados, compuesto por 1 piloto, 1 mecánico, 1 médico, 1 enfermero y 1 TES.
- 55 unidades de atención domiciliaria de médico (UAD), compuesto por 1 TES y 1 médico o enfermero.
- 1 vehículo de apoyo logístico (AL), compuesto por 2 TES.
- 1 módulo de intervención rápida (MIR), compuesto por 2 TES.
- 1 psicólogo, compuesto por 1 psicólogo y 1 TES.
- 1 centro de urgencias extrahospitalaria (CUE), localizado en la localidad de El Molar, compuesto por personal médico, enfermería, técnico de radiología y auxiliar de enfermería.
- 1 vehículo de neonatos, compuesto por 1 TES, 1 enfermero y 1 neonatólogo.
- 1 vehículo de trasplantes, compuesto por 1 TES.
- Dependiendo de las necesidades y de la estación del año:
 - Vehículos de rescate de alta montaña.
 - Vehículo de comunicaciones.

PROCEDIMIENTO DE DANC EN EL SUMMA 112

Protocolo inicial

Ante una situación de PCR, los profesionales del SUMMA 112 emplean los procedimientos y las recomendaciones establecidas por las Guías 2021 del European Resuscitation Council (ERC), aplicando maniobras de SVA, con el principal objetivo de la recuperación espontánea de la circulación. Una vez la PCR ha sido considerada infructuosa, el médico responsable del equipo asistencial del SUMMA 112 valora la activación del protocolo de donación en asistolia, denominado Código 0.

Los criterios de inclusión y de exclusión, para la activación del Código 0, por el equipo de SVA del SUMMA 112, son los siguientes:

- Pacientes que sufrieron PCR presenciada por algún testigo, en una localización distinta al hospital, conociéndose la hora exacta en la que se produce.
- Edad comprendida entre los 16 y 60 años. En ocasiones excepcionales y con buena calidad de vida del paciente y sin antecedentes personales de interés, se podría aumentar en unos años la edad límite del posible donante, aplicando criterios expandidos. Los pacientes candidatos a DANC que fueran trasladados por el helicóptero sanitario, se remiten preferentemente al Hospital Universitario 12 de Octubre, por la presencia de helisuperficie en la azotea de la misma unidad de Cuidados Intensivos. Mientras que los pacientes con una edad entre 16 y 18 años, se vehiculan siempre al Hospital Universitario Clínico San Carlos, ya que el protocolo del Hospital Universitario 12 de Octubre no contempla este rango de edad para los donantes en asistolia no controlada.
- Tiempo de llegada del SVA menor de 15 minutos desde el momento que se produce la PCR.
- Tiempo de RCP avanzada realizada por un equipo de soporte vital avanzado de al menos 20 minutos.
- Trazado electrocardiográfico de asistolia, independientemente del ritmo inicial de la PCR.
- Tiempo de llegada al hospital menor de 120 minutos desde que se produce la PCR.
- Causa de la muerte conocida y fácilmente diagnosticable, descartándose agresiones.

Los criterios de exclusión, fueron los siguientes:

- Presencia de lesiones exanguinantes en tórax y/o abdomen.
- Apariencia física sugerente de enfermedad neoplásica, infecciosa o adictos a drogas por vía parenteral (ADVP).
- Perímetro torácico no compatible con el uso del cardiocompresor mecánico.

Una vez se comprueba que el paciente es candidato a DANC y transcurridos al menos 20 minutos desde el inicio de la RCP avanzada, el médico se comunica con coordinación hospitalaria del Centro Coordinador del SUMMA 112, para transmitir la información pertinente al Coordinador de Trasplantes del hospital receptor. Si la familia no estuviera presente en el momento de la asistencia al paciente de su familiar, es función de los cuerpos y fuerzas de seguridad del estado o de la policía local, ponerse en contacto con ellos o facilitar información para la comunicación posterior por parte del personal sanitario.

En el momento que el Coordinador de Trasplantes acepta el traslado del posible donante al hospital, es su competencia ponerse en contacto con los distintos profesionales que puedan intervenir de una forma directa o indirecta en el proceso de donación y trasplante. En ese momento, el personal de urgencias, intensivos, seguridad, etc. se preparan para la recepción del paciente.

El SVA traslada al posible donante al hospital, aplicando el siguiente protocolo (figura 6):

- El traslado se realizará preferiblemente con cardiocompresor mecánico, evitando de esta forma las interrupciones de las compresiones torácicas y disminuyendo los riesgos secundarios a las compresiones mecánicas manuales durante el traslado en la ambulancia, principalmente por motivos de seguridad. En el SUMMA 112, todas las UVI móviles embarcan cardiocompresor mecánico y el resto de soporte vital avanzado que se precise pueden solicitarlo al Centro Coordinador. No obstante, en estos operativos siempre hay un recurso de apoyo logístico colaborando en la asistencia y porta, entre otros dispositivos, cardiocompresor mecánico.
- La ventilación y oxigenación se realizará, una vez aislada la vía aérea, con ventilación mecánica con una FiO₂ de 1, una frecuencia de 15 respiraciones por minuto y un volumen total comprendido entre 6-10 ml/Kg. Valorar el uso de balón resucitador para evitar sobrepresiones. Se establece como uso prioritario la capnografía.
- Se deberá asegurar dos accesos vasculares del mayor calibre posible e interrumpir la administración de fluidos y de fármacos. Es recomendable la extracción de una muestra sanguínea con una correcta identificación.
- El traslado al hospital debe realizarse a una velocidad constante, comprendida entre 40-50 Km/h, evitando aceleraciones y desaceleraciones para lo cual es necesario apoyo con escolta policial.

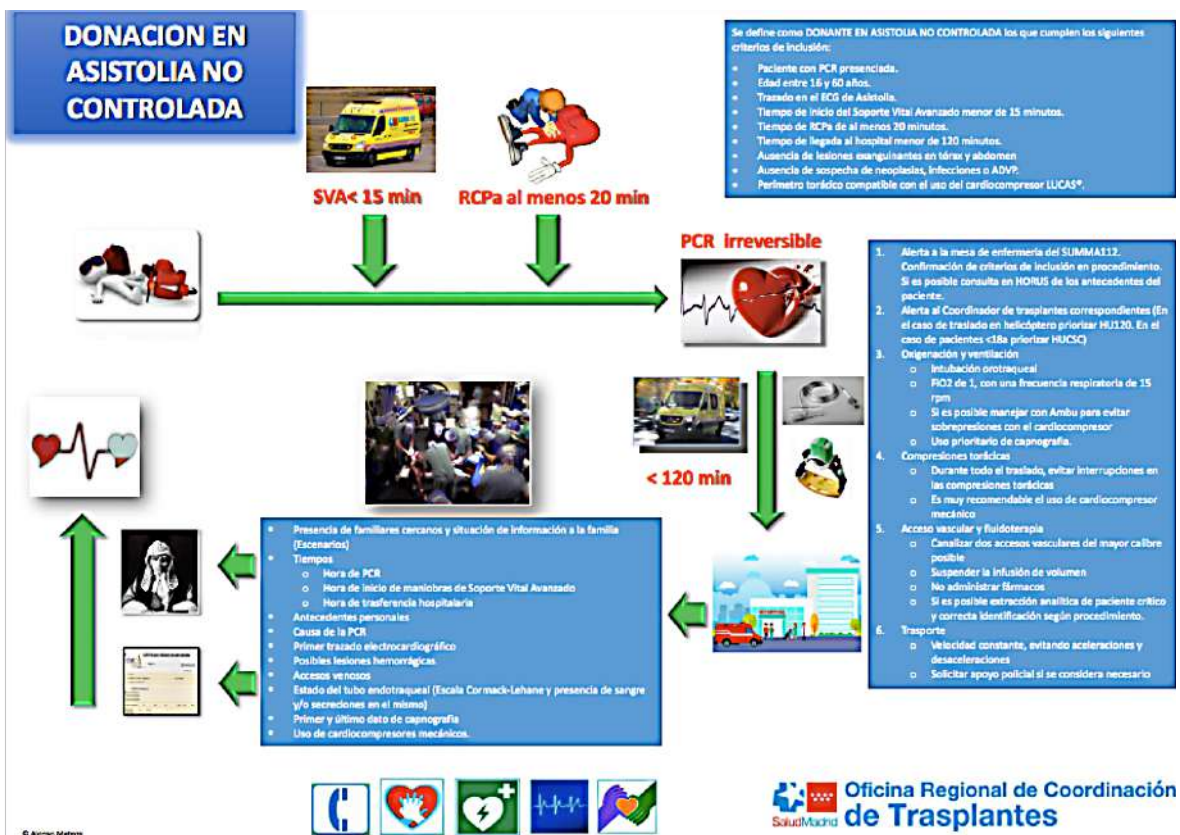


Figura 6. Procedimiento de donación en asistolia no controlada del SUMMA 112 hasta marzo del 2020.

Protocolo tras COVID-19

La irrupción de la pandemia de COVID-19, en marzo del 2020, provocó una disminución en la actividad de donación y trasplante a nivel mundial y nacional. Particularmente, afectó a la DANC que tuvo que interrumpir su actividad en la Comunidad de Madrid hasta junio del 2021, momento en el que se reinició la actividad, pero con unas ciertas peculiaridades respecto al protocolo anterior (figura 7):

- El único hospital receptor de DANC es el Hospital Universitario 12 de Octubre, con un horario restringido de 14 horas a 2 horas del día siguiente, durante los 365 días del año, siendo desestimado todo posible donante en asistolia no controlada fuera de ese horario.
- El intervalo de edad disminuye, siendo considerado en este nuevo protocolo, los pacientes en PCR con un intervalo de edad entre los 18 y 50 años.
- Se deberá realizar un cribado de virus SARS-CoV-2, realizando una anamnesis exhaustiva, centrándose en los síntomas compatible con la infección previa a la PCR, posibles contactos epidemiológicos del paciente en los últimos días y test para la detección de antígenos de SARS-Cov-2 negativo.



Figura 7. Procedimiento de donación en asistolia no controlada del SUMMA 112 a partir del 1 de junio del 2021.

En el protocolo de DANC es fundamental conocer los tiempos desde que se produce la PCR hasta la llegada al hospital. Las definiciones de los tiempos son los siguientes (figura 8):

- **Tiempo de parada cardiorrespiratoria.** Tiempo desde que se produce el cese de la función cardiorrespiratoria hasta el inicio de la asistencia por parte del SVA.
- **Tiempo de RCP.** Tiempo desde que se inician las maniobras de soporte vital avanzado hasta que se inicia la preservación de los órganos, teniendo una fase extrahospitalaria y otra intrahospitalaria.
- **Tiempo hasta el inicio RCP avanzada.** Tiempo desde que se produce el cese de la función cardiorrespiratoria hasta el inicio de asistencia por parte del SVA. Coincide con el tiempo de PCR.
- **Tiempo de llegada al hospital desde inicio de maniobras de SVA.** Tiempo desde que se inician maniobras de RCP avanzada hasta la llegada al hospital.
- **Tiempo de isquemia caliente extrahospitalaria.** Tiempo desde que se produce la PCR hasta la transferencia hospitalaria por parte del SVA.
- **Tiempo de isquemia caliente.** Corresponde al tiempo desde que se produce la PCR hasta el inicio de la preservación con oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO).
- **Tiempo de isquemia fría.** Es el intervalo de tiempo que va desde que en la extracción se claman los vasos del donante y se inicia la perfusión de los órganos con las soluciones de preservación, hasta que el órgano, ya implantado, es reperfundido con la sangre del receptor.

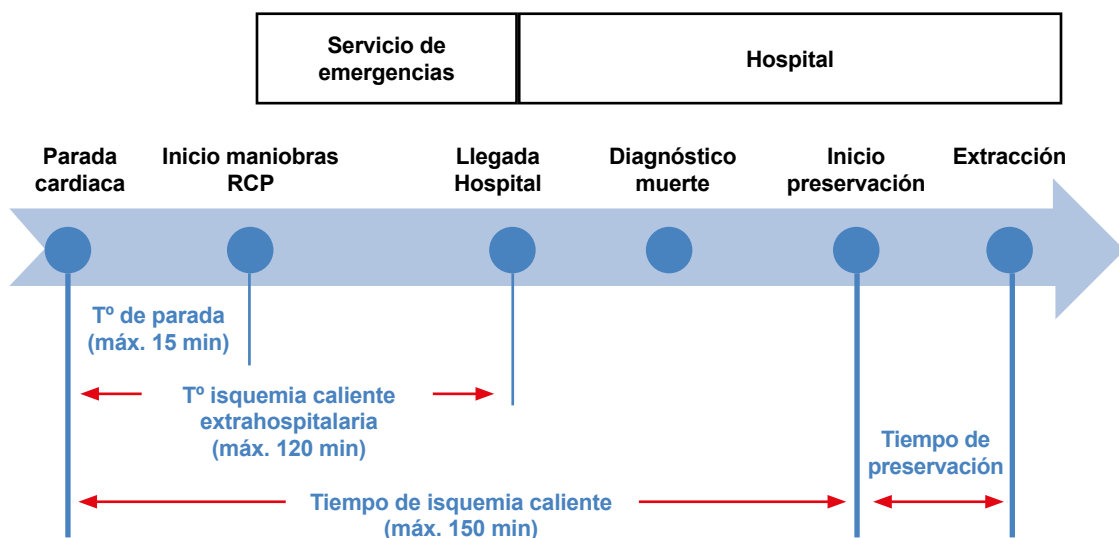


Figura 8. Tiempos en el procedimiento de donación en asistolia no controlada.

En este procedimiento, como en todas las RCP se utiliza la capnometría como marcador de una correcta ventilación. En el código cero (DANC) se recogen los valores de la capnometría en 3 momentos:

- **Capnometría al inicio.** Es la primera cifra de capnometría reflejada por el SEM al comenzar la PCR, una vez aislada la vía aérea.

- **Capnometría a la mitad.** Es la capnometría registrada en la mitad del periodo entre la obtenida tras la intubación del paciente por el SEM y la capnometría en la transferencia del paciente al hospital.
- **Capnometría en la transferencia.** Es la registrada en la historia clínica del paciente, justo antes de la transferencia del donante al hospital.

Por último, la terminología relacionada con el proceso de donación en este trabajo, es la siguiente:

- **Potencial donante en asistolia no controlada:** Paciente que, tras una PCR extrahospitalaria infructuosa y cumpliendo los criterios de selección, se decide valorar como posible donante de órganos sólidos.
- **Donante válido (o viable):** aquel del que se obtiene al menos un riñón que finalmente es trasplantado. Correspondería al que la ONT denomina efectivo, aunque en esta definición de la ONT se incluye tanto riñones como cualquier otro órgano sólido trasplantado.
- **Riñón u órgano sólido válido o viable:** aquel que es trasplantado tras considerarlo adecuado, después de la inspección macroscópica y/o microscópica que realiza el equipo quirúrgico.

Uso de la Capnografía en la DANC

La capnografía es una medida no invasiva y continua de la presión parcial de dióxido de carbono (PCO₂) en el aire pulmonar espirado en función del tiempo de cada ciclo respiratorio. Este método permite valorar, de una manera indirecta, la función ventilatoria, el gasto cardiaco y el metabolismo celular^{33,34}.

La capnografía es medida y monitorizada mediante un dispositivo denominado capnógrafo, que ofrece información sobre la representación gráfica del CO₂ exhalado por el paciente y un valor numérico, a tiempo real. Esta técnica se basa en la detección de la luz infrarroja para medir el CO₂, con una absorbancia fuerte, alrededor de 4.3 μm .

La capnometría se corresponde, únicamente, con el valor numérico de CO₂ espirado por el paciente. El valor numérico que se refleja en el monitor se corresponde con la concentración de CO₂ al final de la espiración y es detectado mediante el capnómetro.

Hay dos tipos de capnógrafos según la forma de medir el flujo de CO₂: de flujo principal y de flujo lateral. Los capnógrafos de flujo principal, fueron los primeros en utilizarse, teniendo el sensor en el tubo endotraqueal y la detección se realiza de forma simultánea al flujo de aire espirado, por lo que son idóneos para los pacientes que tienen la vía aérea aislada. No obstante, en ocasiones el sensor da problemas por obstrucciones debido a las secreciones respiratorias. Los capnógrafos de flujo lateral, tienen su sensor en el monitor, y la detección se realiza con una conexión desde la tubuladura hasta el monitor. Pueden presentar una leve demora en el cálculo capnométrico por el tiempo de llegada del aire exhalado al sensor. Este tipo de capnógrafos se podría utilizar tanto para pacientes que tienen aislada la vía aérea como los que no^{35,36}.

Los capnógrafos permiten determinar la concentración de CO₂ respecto al volumen (capnografía volumétrica) o respecto al tiempo (capnografía temporal), siendo esta última la más utilizada en los SEM de España.

El registro capnográfico se divide en dos ejes, un eje horizontal representado por el tiempo, medido normalmente en segundos, y un eje vertical representado por la presión parcial de CO₂, medido en mmHg.

En el capnograma se pueden identificar las siguientes fases (figura 9):

Fase I, A-B: Representa el final de la inspiración y el comienzo de la espiración. En esta fase la presión parcial de CO₂ es la ambiental y se considera el valor cero.

Fase II, B-C: Fase ascendente, coincide con el comienzo de la espiración. Se produce un aumento de la concentración de CO₂, procedente del espacio muerto.

Fase III, C-D: Fase meseta alveolar, se produce un aumento lento y gradual de los niveles de CO₂, procedente de los alvéolos. Al final de esta fase está el punto de mayor concentración de CO₂ (EtCO₂), punto D, coincidente con el final de la espiración, valor que aparece en el monitor.

Fase IV, D-E: En esta fase se produce el inicio de la inspiración y un descenso brusco de los niveles de CO₂.

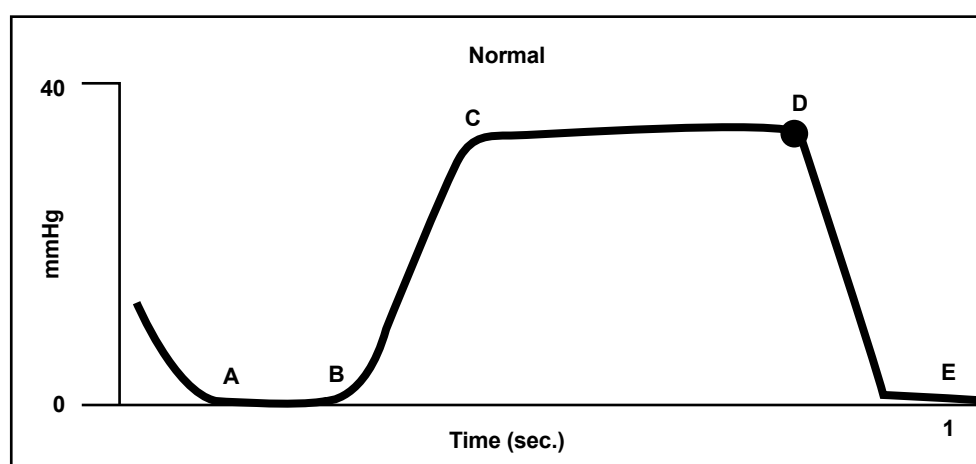


Figura 9. Representación gráfica de las fases del capnograma.

El valor del punto donde la presión parcial de CO₂ es máxima (EtCO₂), corresponde con la presión parcial de CO₂ al final de la espiración (punto D del capnograma). La presión parcial de CO₂ (pCO₂) está relacionada con el valor de la EtCO₂, siendo el valor final de la EtCO₂ aproximadamente 5 mmHG menor que la de pCO₂.

La capnografía presenta múltiples aplicaciones en los enfermos críticos y en pacientes en PCR, siendo una herramienta fundamental en los SEM. Entre las aplicaciones que se utilizan en la práctica clínica se encuentran^{37,38,39}:

- Verificación de la adecuada colocación del tubo endotraqueal.
- Monitorización y control de la terapia respiratoria.
- Identificación de obstrucción y/o extubación del tubo endotraqueal.
- Evaluación de la perfusión periférica de los pacientes en PCR.
- Monitorización de la calidad de las compresiones torácicas.
- Identificación de posible retorno de la circulación espontánea en los pacientes en PCR que presentan un aumento brusco de los valores de EtCO₂.
- Valoración del pronóstico del paciente en RCP de larga duración.
- Control de los parámetros ventilatorios en pacientes pediátricos, patología respiratoria y con sospecha de HITC.

Respecto a los criterios de calidad de la RCP, uno de los objetivos fundamentales que determinan las actuales guías de la AHA, ERC e ILCOR es conseguir una profundidad de las compresiones torácicas entre 5 y 6 cm, junto con un ritmo entre 100 y 120 compresiones por minuto, pudiéndose determinar su eficacia indirectamente mediante la monitorización de la capnografía. Además, la gráfica y la forma de la onda del registro gráfico de la capnografía puede aportar información relevante sobre la causa de la PCR: presencia de un neumotórax, una hemorragia, etiología respiratoria, etc⁴⁰).

La utilización de la capnografía durante la RCP tiene una gran relevancia pronóstica. Se conoce que valores de EtCO₂ inferiores a 10 mmHg durante una RCP, dilatados en el tiempo, está relacionado con un gasto cardiaco insuficiente y se asocia con una tasa de supervivencia prácticamente nula. Sin embargo, niveles elevados de EtCO₂ presentan mejor pronóstico para el retorno a la circulación, debiendo intentar mantener niveles superiores a 20 mmHg durante toda la RCP, aunque estos valores en muchas ocasiones dependen de la causa de la PCR⁴¹.

Además, los niveles EtCO₂ pueden ayudar a la identificación de la causa de la PCR, sabiendo que los niveles mayores de EtCO₂, al comienzo de la PCR suele indicar causa respiratoria, sugiriendo lo contrario causas cardiacas primarias.

Respecto a la función respiratoria, los expertos a nivel mundial, recomiendan en la RCP la utilización de la sonda de capnografía, además del aislamiento de la vía aérea por personal experto, con ventilación a una frecuencia entre 8 y 10 respiraciones por minuto, con volumen suficiente para la elevación del tórax y sin que las compresiones torácicas se interrumpen más de 10 segundos.

La capnografía nos permite valorar el metabolismo celular y la perfusión tisular, por lo que podría ser una herramienta útil para conocer el estado de los órganos, previo a la donación en los pacientes críticos, potenciales donantes⁴².

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

La capnometría durante una resucitación cardiopulmonar tras una parada cardiorrespiratoria, es indicativa de la perfusión de los órganos y de su metabolismo celular, por lo que se utiliza como herramienta evaluadora de la calidad de la resucitación cardiopulmonar y como predictora de la recuperación de la circulación espontánea.

En los DANC, en los que no se consiguió la reinstauración de la circulación espontánea, los valores de capnometría, indicativos de mejor perfusión tisular, podrían predecir la validez de los donantes (aquellos que generan algún riñón trasplantado) y la evolución de sus injertos renales viables trasplantados.

OBJETIVOS PRIMARIOS DEL ESTUDIO

- Analizar si los valores de capnometría en los potenciales donantes en asistolia no controlada son predictores de la validez de los donantes.
- Analizar si los valores de capnometría en los potenciales donantes en asistolia no controlada son predictores de la evolución, a corto plazo, de los riñones viables trasplantados, analizando: la tasa de “no función primaria”, el retraso en la función renal, las necesidades de diálisis post trasplante, los días hasta la recuperación de la función renal y la función renal y la proteinuria en el primer año.

OBJETIVO SECUNDARIO DEL ESTUDIO

- Determinar las variables extrahospitalarias que puedan influir en la validez de los donantes en asistolia no controlada.

MATERIAL Y MÉTODOS

DISEÑO DEL ESTUDIO

Estudio observacional, ambispectivo, que relaciona los niveles de capnometría de los DANC con la validez de los donantes y la evolución de los injertos renales viables trasplantados procedentes de estos donantes durante el primer año post trasplante. Los receptores de los injertos renales se siguieron durante un año, a partir de la fecha del trasplante renal.

Este estudio se ha realizado en la Comunidad de Madrid, en el periodo comprendido entre enero del 2018 y diciembre del 2023, y han intervenido: Hospital Universitario 12 de Octubre, Hospital Universitario Clínico San Carlos, SUMMA 112, SAMUR-PC y Cruz Roja.

POBLACIÓN DE ESTUDIO

La elección de los potenciales donantes en asistolia no controlada se hizo siguiendo los protocolos de la Oficina Regional de Trasplantes de la Comunidad de Madrid, con las modificaciones provocadas por la pandemia del COVID-19, antes comentadas (figura 6 y 7).

Se seleccionaron como DANC aquellos pacientes que sufrieron una PCR extrahospitalaria, sin respuesta a maniobras de RCP avanzada y cumplían los criterios de inclusión antes descritos en el protocolo previo a marzo de 2020 y posteriormente en el renovado, desde junio de 2021.

Respecto a la selección de los receptores de los injertos renales, se siguieron los criterios de los Coordinadores de Trasplantes, siendo los más relevantes los siguientes:

- Pacientes con insuficiencia renal crónica en tratamiento renal sustitutivo, en lista de espera para trasplante renal.
- Edad del receptor superior a los 18 años.
- Peso y talla similar entre donante y receptor.
- Grupo sanguíneo: isogrupo respecto al donante.
- La prueba cruzada por Citotoxicidad Dependiente del Complemento negativa, para descartar sensibilización con Anticuerpos anti HLA.
- Se priorizan aquellos pacientes con largo tiempo en lista de espera y con problemas en su calidad de vida pese al tratamiento renal sustitutivo.

RECOGIDA DE DATOS

Los datos, tanto de los donantes como de los receptores, fueron recogidos de las historias clínicas digitalizadas, consultadas mediante el sistema informático Horus, plataforma informática que permite compartir información clínica de los pacientes que han sido atendidos en el Servicio Madrileño de Salud. La información que no se pudo conseguir por *Horus*, se completó consultando los registros, en formato físico y digital, de las Coordinaciones de Trasplantes de los hospitales y de la ONT. En el Hospital Universitario 12 de Octubre, el software médico de gestión de pacientes era el programa *Health Care Information System* (HCIS) y en el Hospital Universitario Clínico San Carlos era Selene.

De todas estas plataformas y formatos se obtienen los siguientes datos de los donantes en asistolia no controlada:

TABLA 2.

Listado de variables de los donantes en asistolia no controlada

NOMBRE DE LA VARIABLE	VALOR VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD
VARIABLES GENERALES			
Hospital	Clínico San Carlos	Variable cualitativa dicotómica	
	12 de Octubre		
Edad	Número entero	Variable cuantitativa continua	Años
Sexo	Hombre	Variable cualitativa dicotómica	
	Mujer		
Peso	Número entero	Variable cuantitativa continua	Kg
Talla	Número entero	Variable cuantitativa continua	m
Índice de masa corporal	Índice de masa corporal	Variable cuantitativa continua	Kg/m ²
Antecedentes personales	Alcohol	Variable cualitativa nominal	
	Hipertensión		
	Diabetes		
	Tabaco		
Motivo de fallecimiento	Desconocido	Variable cualitativa nominal	
	Tromboembolismo pulmonar		
	Arritmia		
	Cardiopatía isquémica		
	Tóxicos		
	Muerte súbita		
	Colesterol		
Causa cardíaca	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
VARIABLES TIEMPO			
Tiempo desde PCR hasta inicio de SVA	Número entero	Variable cuantitativa continua	Minutos
Tiempo desde inicio de RCP avanzada hasta llegada al hospital	Número entero	Variable cuantitativa continua	Minutos
Tiempo de isquemia caliente extrahospitalaria	Número entero	Variable cuantitativa continua	Minutos
Tiempo de isquemia caliente	Número entero	Variable cuantitativa continua	Minutos
Tiempo de isquemia fría riñón derecho	Número entero	Variable cuantitativa continua	Minutos
Tiempo de isquemia fría riñón izquierdo	Número entero	Variable cuantitativa continua	Minutos

(Continúa en la página siguiente).

TABLA 2 (CONT.).

Listado de variables de los donantes en asistolia no controlada

NOMBRE DE LA VARIABLE	VALOR VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD
VARIABLES RCP			
SEM implicado	SUMMA 112	Variable cualitativa nominal	
	SAMUR-PC		
	Cruz Roja		
Tipo de traslado	Ambulancia	Variable cualitativa dicotómica	
	Helicóptero		
Cardiocompresión extrahospitalaria	Mecánica	Variable cualitativa dicotómica	
	Manual		
Tipo de cardiocompresor	Lucas 2	Variable cualitativa nominal	
	Lucas 3		
	Autopuls		
Recuperación de pulso en algún momento	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Soporte vital básico previo	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
SVB realizado	Testigo sin formación	Variable cualitativa nominal	
	TES		
	Pareja		
	Policía/ Bomberos		
	UAD/ SVAE		
Lugar PCR	Domicilio	Variable cualitativa nominal	
	Calle		
	Lugar de trabajo		
	Centro recreativo		
	Edificio/ Lugar público		
	Centro educativo		
	Residencias sociosanitarias		
	Centro sanitario extrahospitalario		
	Otros		

(Continúa en la página siguiente).

TABLA 2 (CONT.).

Listado de variables de los donantes en asistolia no controlada

NOMBRE DE LA VARIABLE	VALOR VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD
VARIABLES RCP			
Motivo llamada telefónica	PCR	Variable cualitativa nominal	
	Disnea		
	Inconsciente		
	Disnea		
	Síncope		
	Evento traumático		
	Ahogamiento		
	Convulsiones		
	Síntomas inespecíficos		
Primer ritmo cardiaco	Asistolia	Variable cualitativa nominal	
	Actividad eléctrica sin pulso		
	FV		
	TVSP		
Capnometría			
Capnometría inicial	Número decimal	Variable cuantitativa continua	MmHg
Capnometría mitad	Número decimal	Variable cuantitativa continua	MmHg
Capnometría transferencia	Número decimal	Variable cuantitativa continua	MmHg
VARIABLES ÓRGANOS			
Riñón izquierdo			
Extraído	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Válido o viable	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Trasplantado	Si	Variable cualitativa dicotómica	
	No		

(Continúa en la página siguiente).

TABLA 2 (CONT.).

Listado de variables de los donantes en asistolia no controlada

NOMBRE DE LA VARIABLE	VALOR VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD
Riñón derecho			
Extraído	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Válido o viable	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Trasplantado	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Hígado			
Extraído	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Válido o viable	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Trasplantado	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Pulmón			
Extraído	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Válido o viable	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Trasplantado	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		

Los receptores fueron pacientes con insuficiencia renal crónica en tratamiento renal sustitutivo y se seleccionaron de la lista de espera para trasplante renal de cada hospital participante, recogiendo los siguientes datos:

TABLA 3.
Listado de variables de los receptores

NOMBRE DE LA VARIABLE	VALORES DE LA VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD
Hospital de trasplante	Clínico San Carlos	Variable cualitativa dicotómica	
	12 de Octubre		
Riñón trasplantado	Riñón izquierdo	Variable cualitativa dicotómica	
	Riñón derecho		
Tiempo diálisis	Número entero	Variable cuantitativa continua	Años
No función primaria	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Rechazo agudo	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Retraso función renal	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Días hasta descenso de creatinina	Número entero	Variable cuantitativa continua	Días
Número de diálisis tras trasplantes	Número entero	Variable cuantitativa continua	Días
Complicaciones urológicas	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Infecciones relacionadas	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Valores creatinina			
Creatinina día 1	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl
Creatinina día 7	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl
Creatinina día 15	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl
Creatinina mes 1	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl
Creatinina mes 3	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl
Creatinina mes 6	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl
Creatinina mes 12	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl

(Continúa en la página siguiente).

TABLA 3 (CONT.).

Listado de variables de los receptores

NOMBRE DE LA VARIABLE	VALORES DE LA VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD
Valores proteinuria			
Proteinuria día 1	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl
Proteinuria día 7	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl
Proteinuria día 15	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl
Proteinuria mes 1	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl
Proteinuria mes 3	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl
Proteinuria mes 6	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl
Proteinuria mes 12	Número decimal	Variable cuantitativa continua	Mg/dl
Supervivencia			
Supervivencia del injerto al año	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		
Supervivencia paciente al año	Sí	Variable cualitativa dicotómica	
	No		

CODIFICACIÓN DE DATOS

Los datos, tanto de los donantes como de los receptores se recogieron y custodiaron en una hoja de Microsoft Excel. Estos datos son divididos en 4 pestañas: 2 corresponden a los potenciales donantes y 2 corresponden a los receptores de los órganos. En el caso de los potenciales donantes, la primera pestaña corresponde a la información de las variables y la segunda pestaña se refiere al significado de la codificación de los resultados de las variables. Las pestañas de los receptores también se dividen en dos, la primera de ellas expresa los resultados de las variables que se están estudiando y la segunda describe la codificación de los resultados de las variables.

ANÁLISIS DE DATOS

Las variables cuantitativas se expresaron como mediana [RIC] y las variables cualitativas como frecuencias absolutas (n) y relativas (%). La correlación entre los niveles de capnometría del donante (inicio, mitad, transferencia) con los valores de creatinina y proteinuria en los distintos días, se realizó mediante el coeficiente de correlación de Spearman. Se empleó el test de Chi cuadrado o Exacto de Fisher, para valorar relaciones entre variables

cualitativas. La asociación entre las variables cualitativas con los niveles de capnometría, u otras variables cuantitativas, se valoró con el test de Wilcoxon. Se compara también la diferencia de la capnometría entre el momento inicial y final de la asistencia prehospitalaria con la evolución del injerto renal, basado en el concepto previamente descrito que el aumento brusco de la EtCO₂ predice recuperación de pulso espontáneo. Se consideraron resultados estadísticamente significativos aquellos con un valor de $p \leq 0,05$. p.

Mediante modelos de regresión logística univariantes, con las variables del donante, se establecieron aquellas que serían relevantes a la hora de construir un modelo multivariante para la variable dependiente donante válido, para ello, se seleccionaron aquellas variables con un nivel de significación $p < 0.2$.

El modelo multivariante completo, que incluía las variables que cumplían el criterio de $p < 0.2$, anteriormente descrito, se ajustó empleando el modelo "backward". El ajuste del modelo se valoró con la Pseudo R² McFadden y la calibración del modelo con el Test de bondad de ajuste de Hosmer y Lemeshow. Los resultados de las variables del modelo ajustado se presentan empleando odds ratio y sus intervalos de confianza al 95%.

Con el objeto de facilitar la rápida clasificación del donante como válido o no válido se creó un Índice de Validez a partir de los coeficientes de este modelo. Este índice, así como los distintos valores de las capnometrías o del tiempo de isquemia se valoró mediante análisis de curva de rendimiento diagnóstico (ROC), estableciendo para cada variable, el punto de corte óptimo (basado en el índice de Youden). Los parámetros de precisión, sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo (VPP) y valor predictivo negativo (VPN), se calcularon para todas estas variables, para finalmente determinar el Área Bajo la Curva (ABC), para cada una de ellas, como una medida del poder predictor de éstas. Todo el análisis estadístico fue realizado con el software R, v 4.1.

El estudio fue aceptado por el Comité de Ética de la Investigación de la Universidad Francisco de Vitoria con el número 33/2018 y ha seguido la Declaración de Helsinki.

PROTECCIÓN DE DATOS

Los datos han sido registrados y tratados siguiendo los criterios establecidos en materia de protección de las personas físicas respecto al tratamiento de los datos personales y la libre circulación de estos datos, tanto por la legislación europea (Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016) como la española (Ley Orgánica 15/1999 del 13 de diciembre de 1999 de Protección de Datos de Carácter Personal, BOE 298 de 14/12/99).

La identificación tanto de los donantes como de los receptores se ha realizado mediante una codificación numérica de tal forma que no es posible conocer su identidad. En ningún caso se anota el nombre de los donantes o receptores o cualquier otro dato que pudiera revelar su filiación.

RESULTADOS

ANÁLISIS DEL PROCESO DE DONACIÓN

Descripción general del proceso de donación

En el periodo que va desde enero del 2018 a diciembre del 2023 se recogieron un total de 74 pacientes que fueron trasladados por los servicios de emergencias como potenciales donantes en asistolia no controlada a los hospitales de referencia.

Los 74 posibles donantes fueron valorados por los Coordinadores de Trasplantes y equipos trasplantadores, 40 (54%) en el Hospital Universitario Clínico San Carlos y 34 (46%) en el Hospital Universitario 12 de Octubre (figura 10).

En este último hospital se perdieron 5 posibles donantes por negativa familiar a la donación. Las razones de la negativa a la donación fueron: religiosas (3), negativa a la donación en vida por parte del paciente (1) y no argumentación de algún motivo (1). Adicionalmente, 27 potenciales donantes fueron trasladados al Hospital Universitario Clínico San Carlos y 16 al Hospital Universitario 12 de Octubre, tras la extracción de sus órganos fueron considerados no válidos.

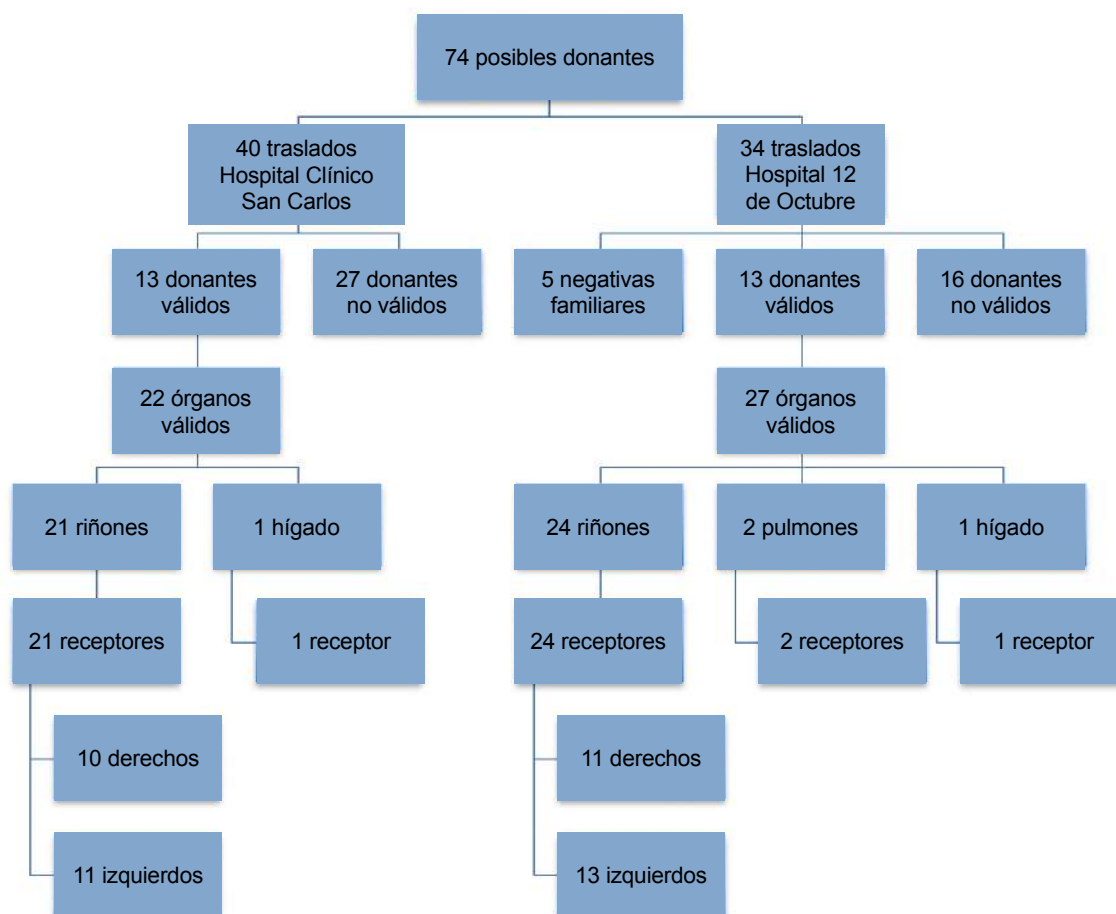


Figura 10. Diagrama de flujo de la donación en asistolia no controlada del 2018 al 2023.

Finalmente, de los 26 donantes restantes (13 de cada hospital) se obtuvieron 49 órganos válidos para trasplante, concretamente, 45 riñones (21 derechos y 24 izquierdos), 2 hígados y 2 pulmones (1 izquierdo, 1 derecho) (figura 11).



Figura 11. Número de órganos obtenidos en la DANC en la CAM, 2018-2023.

Trazabilidad de los órganos

De los 69 potenciales donantes, sólo fueron válidos 26 (todos ellos con, al menos, uno de sus órganos trasplantados). Con los 26 donantes se realizaron 49 trasplantes: 24 riñones izquierdos (49.0%), 21 riñones derechos (42.9%), 1 pulmón izquierdo (2.0%), 1 pulmón derecho (2.0%) y 2 hígados (4.1%). De los 52 riñones obtenidos de los donantes válidos, 45 fueron trasplantados y 7 se descartaron por presentar: por problemas técnicos en la cirugía de la extracción (4) o por disección de los vasos o malformaciones renales (3).

Entre las principales causas de no validez de los riñones en este grupo de donantes no válidos (ningún órgano de ellos trasplantado), está la mala perfusión de los órganos (19/86, 22.1%) y la trombosis (6/86, 7%), que se objetivaron con la observación macroscópica por parte de los cirujanos responsables (aspecto amoratado o atigrado, con sospecha de trombosis intrarrenal por daño isquémico al comprobarse en cirugía de banco la obstrucción al paso del líquido de perfusión desde la arteria renal a la vena) (figura 12).

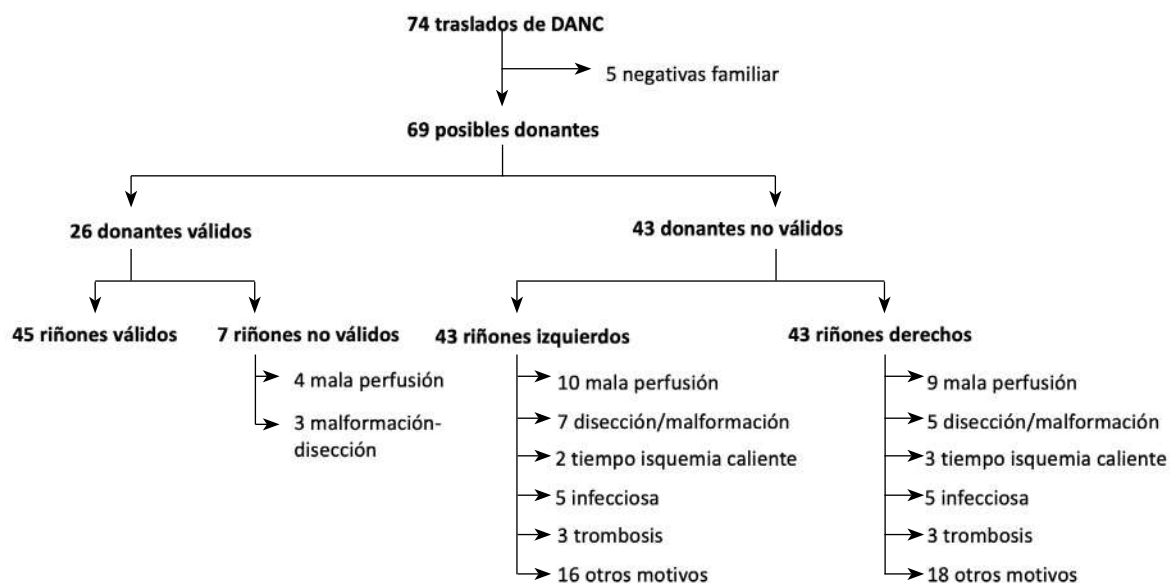


Figura 12. Diagrama de flujo de las causas de no donación de riñón.

En el caso del hígado, los principales motivos de no donación fueron las alteraciones analíticas en el momento de la recepción del posible donante en el hospital y las alteraciones macroscópicas observadas por los cirujanos (figura 13).

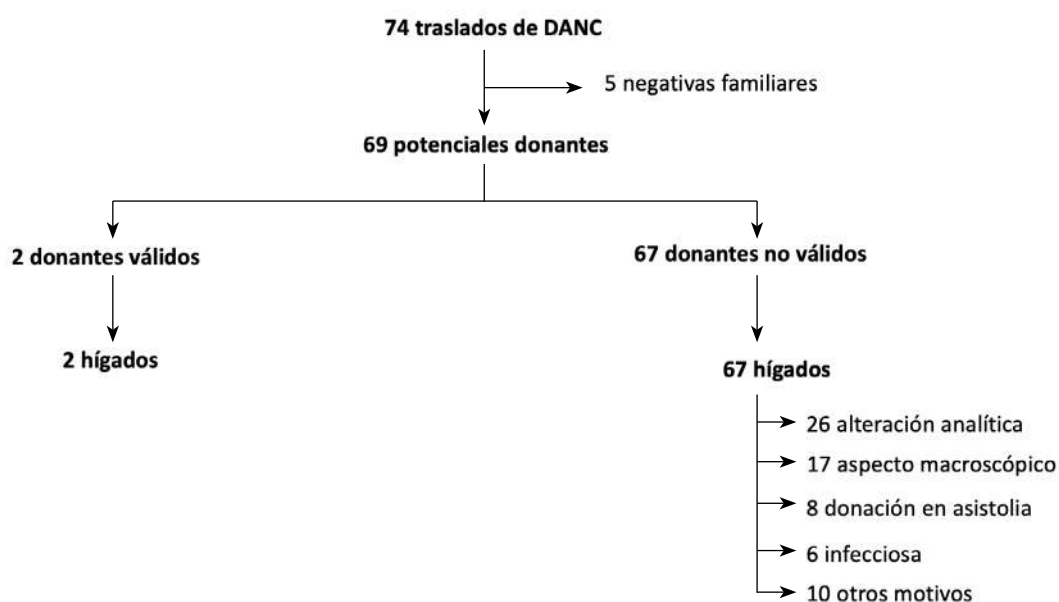


Figura 13. Diagrama de flujo de las causas de no donación de hígado.

Los pulmones, fueron descartados principalmente por los siguientes motivos: sangre en el tubo endotraqueal a la llegada al hospital, edema pulmonar y por problemas logísticos (imposibilidad de contacto con los cirujanos torácicos o ausencias de camas en reanimación) (figura 14).

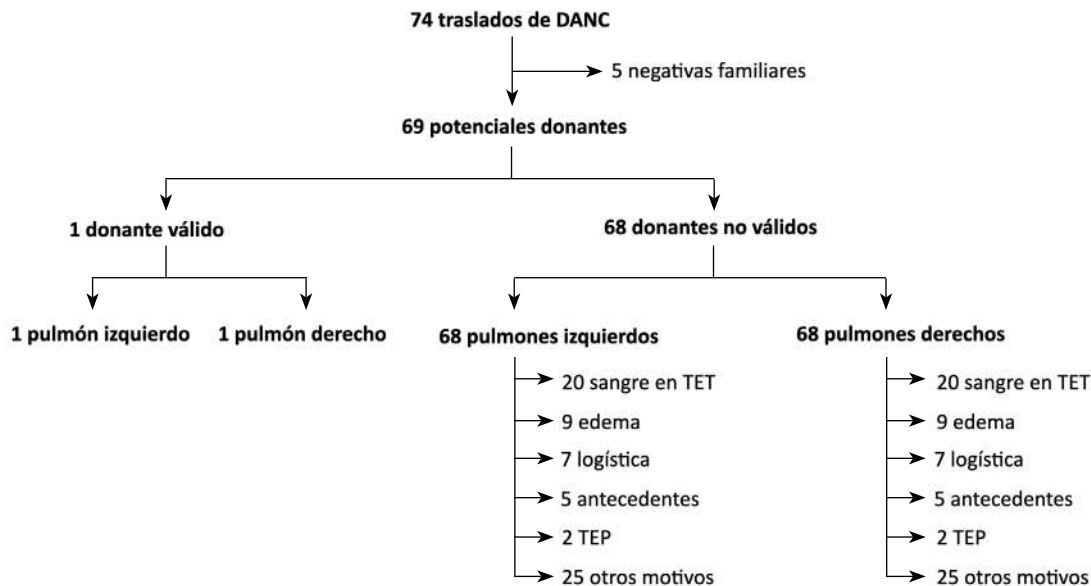


Figura 14. Diagrama de flujo de las causas de no donación de pulmón.

DONANTES

Descripción general de los donantes y factores de riesgo

De los 69 potenciales donantes (ya excluidos los 5 por negativa familiar): 61 eran hombres (88.4%) y 8 mujeres (11.6%). La mediana de edad fue de 49.0 [43.0-52.0] años. La mediana de edad de los donantes válidos (N=26) fue de 46.5 [41.3-51.5] años, mientras que la de los que finalmente no fueron válidos fue de 51.0 [46.0-56.5] años, con un resultado significativo $p=0.02$ (tabla 4).

El Índice de Masa Corporal (IMC) presentaba una mediana de 27.5 [24.7-29.4] kg/m^2 , siendo en los válidos de 26.6 [24.7-27.8] kg/m^2 y en los no válidos de 27.8 [25.3-29.4] kg/m^2 , no encontrándose diferencias significativas.

Entre los antecedentes personales de los 69 potenciales donantes: (28, 40.6%) tenían hipertensión arterial, (18, 23.1%) hipercolesterolemia, (4, 5.8%) diabetes mellitus y (35, 50.7%) eran fumadores activos. Entre los 26 donantes válidos, sólo tenían hipercolesterolemia (2, 7.7%), frente a los 16 de los 43 donante no válidos (16, 37.2%), con una significación de $p=0.007$.

De las causas de fallecimiento apuntadas por los médicos que atendieron a los pacientes la más frecuente fue la muerte súbita (16/69, 23.2%), seguida de la cardiopatía isquémica (12/69, 17.4%), arritmia (11/69, 15.9%), tromboembolismo pulmonar (4/69, 5.8%), tóxicos (2/69, 2.9%), otras razones (6/69, 8.7%) y desconocido (18/69, 26.1%). De lo anterior, se deduce que la mayoría de las causas de fallecimiento son cardíacas, por lo que en nuestro estudio incluimos una variable de las causas del fallecimiento: causa cardíaca (39/69, 56.5%) o no cardíaca (30/69, 43.5%).

TABLA 4.
Descripción general de los donantes y factores de riesgo.

DONANTE VÁLIDO				
	Total N = 69	No N = 43	Sí N = 26	p-valor
Edad	49.0 [43.0-52.0]	51.0 [46.0-57.0]	46.5 [41.0-52.0]	0.020
Sexo				>0.999
Masculino	61 (88.4%)	38 (88.4%)	23 (88.5%)	
Femenino	8 (11.6%)	5 (11.6%)	3 (11.5%)	
Peso	80.0 [75.0-90.0]	85.0 [75.0-90.0]	80.0 [77.0-90.0]	0.617
Talla	175.0 [170.0-180.0]	175.0 [170.0-178.0]	175.0 [170.0-180.0]	
IMC	27.5 [24.7-29.4]	27.8 [24.8-29.4]	26.6 [24.7-27.8]	0.325
Causa fallecimiento				0.193
Desconocido	18 (26.1%)	9 (20.9%)	9 (34.6%)	
TEP	4 (5.80%)	3 (6.98%)	1 (3.85%)	
Arritmia	11 (15.9%)	6 (14.0%)	5 (19.2%)	
Cardiopatía isquémica	12 (17.4%)	10 (23.3%)	2 (7.69%)	
Tóxicos	2 (2.90%)	0 (0%)	2 (7.69%)	
Muerte súbita	16 (23.2%)	12 (27.9%)	4 (15.4%)	
Otras	6 (8.70%)	3 (6.98%)	3 (11.5%)	
Causa cardiaca	39 (56.5%)	28 (65.1%)	11 (42.3%)	0.064
Alcohol	14 (20.3%)	11 (25.6%)	3 (11.5%)	0.160
Hipertensión arterial	28 (40.6%)	20 (46.5%)	8 (30.8%)	0.197
Diabetes mellitus	4 (5.80%)	0 (0%)	4 (15.4%)	0.017
Tabaco	35 (50.7%)	21 (48.8%)	14 (53.8%)	0.687
Hipercolesterolemia	18 (26.1%)	16 (37.2%)	2 (7.69%)	0.007

Traslado de los servicios de emergencias

Excluidas las negativas familiares, fueron trasladados al Hospital Universitario Clínico San Carlos (40, 57.9%) donantes y otros (29, 42.1%) al Hospital Universitario 12 de Octubre, siendo transportados en ambulancia medicalizada (68, 98.6%) y (1, 1.4%) en helicóptero medicalizado.

Los SEM implicados en el traslado de posibles donantes fueron el SUMMA 112 (55/69, 79.7%), SAMUR- PC (13/69, 18.8%) y Cruz Roja (1/69, 1.4%). Los donantes válidos fueron trasladados por SUMMA 112 (24/26, 92.3%) y SAMUR-PC (2/26, 7.7%).

En el proceso de traslado al hospital, la frecuencia de utilización del cardiocompresor mecánico fue significativamente más alta que la cardiocompresión manual (55/69, 79.7%) vs (14/69, 20.3%), $p=0.043$. La mayoría de los donantes válidos (24/26, 92.3%) fueron trasladados mediante cardiocompresión mecánica y sólo una minoría (2/26, 7.7%) lo fueron con la manual (tabla 5).

TABLA 5.

Características de las variables relacionadas con el transporte extrahospitalario.

DONANTE VÁLIDO				
	Total N = 69	No N = 43	Sí N = 26	p-valor
Cardiocompresión extrahospitalaria				0.043
Mecánica	55 (79.7%)	31 (72.1%)	24 (92.3%)	
Manual	14 (20.3%)	12 (27.9%)	2 (7.69%)	
Tipo cardiocompresor mecánica				0.713
LUCAS 2	51 (94.4%)	30 (96.8%)	21 (91.3%)	
LUCAS 3	1 (1.85%)	0 (0%)	1 (4.35%)	
Autopulse	2 (3.70%)	1 (3.23%)	1 (4.35%)	
SEM implicado				0.110
Summa 112	55 (79.7%)	31 (72.1%)	24 (92.3%)	
Samur- PC	13 (18.8%)	11 (25.6%)	2 (7.69%)	
Cruz Roja	1 (1.45%)	1 (2.33%)	0 (0%)	
Tipo traslado				>0.999
Ambulancia	68 (98.6%)	42 (97.7%)	26 (100.0%)	
Helicóptero	1 (1.45%)	1 (2.33%)	0 (0%)	
Recuperación pulso algún momento	11 (15.9%)	4 (9.30%)	7 (26.9%)	0.087
SVB previo				0.836
No	5 (7.25%)	4 (9.30%)	1 (3.85%)	
Sí	50 (72.5%)	30 (69.8%)	20 (76.9%)	
SVA	14 (20.3%)	9 (20.9%)	5 (19.2%)	

Once potenciales donantes (11/69, 15.9%) recuperaron pulso transitoriamente en algún momento de la parada. De los 11 que recuperaron pulso transitoriamente, 7 fueron donantes válidos (7/11, 63.6%). Por el contrario, sólo un 33% de los donantes que no recuperaron pulso (19/58) llegaron a ser válidos, mostrando una diferencia con una tendencia a la significación estadística ($p=0.087$).

Se realizó algún tipo de soporte vital en el momento que se produjo la PCR en 64 de los 69 (92.8%) posibles donantes: SVB en (50/69, 72.5%), SVA (14/69, 20.3%) y no se realizó ninguna maniobra en (5/69, 7.2%). Las maniobras de SVB fueron realizadas por policías o bomberos en 12 ocasiones (12/50, 22.6%), en 11 por la pareja del paciente (11/50, 20.8%), en 5 por TES (5/50, 10%), en 2 por UAD médica o SVAE (2/50, 3.8%), en 4 por un testigo sanitario (4/50, 7.5%) y no había información registrada en (16, 32%).

De los 26 donantes válidos, 25 recibieron algún tipo de soporte vital y sólo 1 no recibió ningún tipo de soporte vital antes de la llegada del soporte vital avanzado.

El lugar donde ocurrió la PCR fue: domicilio (43/69, 62.3%), calle (14/69, 20.3%), lugar de trabajo (4/69, 5.8%), centro recreativo (3/69, 4.3%), edificio público (2/69, 2.9%), centro sanitario extrahospitalario (2/69, 2.9%), otros (1/69, 1.4%).

El motivo de llamada por la que se activaron estas PCR fue: PCR (35/69, 58.3%), inconsciente (12/69, 20%), dolor torácico (1/69, 1.7%), disnea (2/69, 3.3%), síncope (4/69, 6.7%) y convulsión (6/69, 10%).

El primer ritmo electrocardiográfico que presentaron fue: fibrilación ventricular (FV) (27/69, 39.1%), asistolia (21/69, 30.4%), actividad eléctrica sin pulso (AESP) (17/69, 24.6%) y taquicardia ventricular sin pulso (TVSP) (4/69, 5.8%) (tabla 6 y 7).

TABLA 6.

Características de las variables relacionadas con el SVB extrahospitalaria.

DONANTE VÁLIDO				
	Total N = 69	No N = 43	Sí N = 26	p-valor
SVB previo				0.836
No	5 (7.25%)	4 (9.30%)	1 (3.85%)	
Sí	50 (72.5%)	30 (69.8%)	20 (76.9%)	
SVA	14 (20.3%)	9 (20.9%)	5 (19.2%)	
SVB realizado por				0.399
Testigo sin formación	15 (28.3%)	9 (29.0%)	6 (27.3%)	
TES	5 (9.43%)	4 (12.9%)	1 (4.55%)	
Pareja	11 (20.8%)	5 (16.1%)	6 (27.3%)	
Policía/Bombero	12 (22.6%)	7 (22.6%)	5 (22.7%)	
UAD/SVAE	2 (3.77%)	1 (3.23%)	1 (4.55%)	
Testigo sanitario	4 (7.55%)	1 (3.23%)	3 (13.6%)	
Otros	4 (7.55%)	4 (12.9%)	0 (0%)	

TABLA 7.

Características de las variables relacionadas con la PCR extrahospitalaria.

DONANTE VÁLIDO				
	Total N = 69	No N = 43	Sí N = 26	p-valor
Motivo llamada				0.551
PCR	35 (58.3%)	19 (54.3%)	16 (64.0%)	
Inconsciente-Coma	12 (20.0%)	8 (22.9%)	4 (16.0%)	
Dolor torácico	1 (1.67%)	1 (2.86%)	0 (0%)	
Disnea	2 (3.33%)	2 (5.71%)	0 (0%)	
Síncope	4 (6.67%)	3 (8.57%)	1 (4.00%)	
Evento traumático	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	
Ahogamiento	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	
Convulsiones	6 (10.0%)	2 (5.71%)	4 (16.0%)	
Síntomas inespecíficos	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	
Lugar PCR				0.537
Domicilio	43 (62.3%)	23 (53.5%)	20 (76.9%)	
Calle	14 (20.3%)	10 (23.3%)	4 (15.4%)	
Lugar de trabajo	4 (5.80%)	3 (6.98%)	1 (3.85%)	
Centro recreativo	3 (4.35%)	3 (6.98%)	0 (0%)	
Edificio o lugar público	2 (2.90%)	2 (4.65%)	0 (0%)	
Centro educativo	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	
Residencias sociosanitarias	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	
Centro sanitario extrahospitalario	2 (2.90%)	1 (2.33%)	1 (3.85%)	
Otros	1 (1.45%)	1 (2.33%)	0 (0%)	
Primer ritmo cardiaco				0.324
Asistolia	21 (30.4%)	16 (37.2%)	5 (19.2%)	
AESP	17 (24.6%)	11 (25.6%)	6 (23.1%)	
TVSP	4 (5.80%)	2 (4.65%)	2 (7.69%)	
FV	27 (39.1%)	14 (32.6%)	13 (50.0%)	

Tiempos en el ámbito extrahospitalario durante el proceso de donación

La mediana del tiempo de isquemia caliente fue de 130.0 [117.0-145.0] minutos para los potenciales donantes, siendo para los donantes válidos de 133.0 [116.8-149.3] minutos.

La mediana del tiempo de PCR hasta la llegada del SVA fue de 10.0 [7.0-15.0] minutos, siendo esta mediana en los donantes válidos de 10.0 [7.0-14.7] minutos.

La mediana del tiempo de isquemia caliente extrahospitalaria (tiempo desde que se produce la PCR hasta la transferencia hospitalaria) fue de 90.0 [75.0-105.0] minutos, siendo en los donantes válidos de 87.5 [75.5-109.0] minutos.

Por otro lado, el tiempo desde que se inicia la PCR por los equipos de SVA hasta la llegada al hospital, en el caso de los potenciales donantes fue de 78.0 [67.0-95.0] minutos y en el de los donantes válidos de 75.0 [67.0-97.2] minutos (tabla 8).

TABLA 8.
Tiempos durante el proceso de donación.

DONANTE VÁLIDO				
	Total N= 69	No N = 43	Sí N= 26	p-valor
Tiempo desde PCR hasta inicio SVA	10.0 [7.0-15.0]	10.0 [6.0-15.0]	10.0 [7.0-15.0]	0.804
Tiempo desde inicio de RCP avanzada hasta llegada al hospital	78.0 [67.0-95.0]	79.0 [68.0-90.0]	75.0 [67.0-98.0]	0.848
Tiempo isquemia caliente prehospitalaria	90.0 [75.0-105.0]	91.0 [75.0-102.0]	87.5 [75.0-109.0]	0.715
Tiempo isquemia caliente	130.0 [117.0-145.0]	130.0 [117.0-145.0]	133.0 [116.0-150.0]	0.548
Tiempo isquemia fría riñón izquierdo	933.0 [600.0-1,095.0]	870.0 [870.0-870.0]	956.5 [600.0-1,095.0]	0.784
Tiempo isquemia fría riñón derecho	1,040.0 [740.0-1,112.5]	NA [NA-NA]	1,040.0 [740.0-1,112.5]	

Capnometría y viabilidad de los donantes

Con el objetivo de relacionar los valores de la capnometría en los donantes con su validez y posteriormente con la evolución de los riñones trasplantados, se recogieron las medidas de capnometría durante la asistencia, en los 69 potenciales donantes.

La mediana de los niveles de capnometría de los potenciales donantes fue de 19.0 [12.0-32.0] mmHg al comienzo de la PCR, 23.0 [16.0-34.0] mmHg a la mitad de la PCR y 22.0 [12.5-30.5] mmHg en el momento de la transferencia.

Si consideramos, exclusivamente los 26 donantes cuyos órganos fueron trasplantados (donantes válidos), la capnometría al inicio fue de 24.5 [13.0-35.0] mmHg, a la mitad de 22.5 [18.0-36.0] mmHg, y en la transferencia de 26.0 [20.0-32.0] mmHg.

Los 43 posibles donantes que no fueron válidos presentaron una mediana de la capnometría inicial de 16.0 [10.0-29.0] mmHg, capnometría a la mitad de 23.5 [16.0-32.0] mmHg y en la transferencia hospitalaria de 15.0 [10.0-29.0] mmHg (tabla 9).

TABLA 9.

Valores de capnometría durante el procedimiento de DANC.

DONANTE VÁLIDO				
	Total N = 69	No N = 43	Sí N = 26	p-valor
Capnometría inicial	19.0 [12.0-32.0]	16.0 [10.0-29.0]	24.5 [13.0-35.0]	0.078
Capnometría mitad	23.0 [16.0-34.0]	23.5 [16.0-32.0]	22.5 [18.0-36.0]	0.259
Capnometría transferencia	22.0 [12.5-30.5]	15.0 [10.0-29.0]	26.0 [20.0-32.0]	0.004
Tendencia capnometría	0.0 [-9.0-9.0]	-1.0 [-6.0-6.0]	1.5 [-10.0-9.0]	0.861

Entre los 43 donantes que fueron no válidos, si consideramos el subgrupo de aquellos de los que se extrajeron riñones en los que constaba como causa de no validez para trasplante estar mal perfundidos (N=19), el análisis de su capnometría mostró valores significativamente más bajos, tanto en el momento inicial como en el momento de la transferencia, respecto a los 26 donantes válidos 13.5 [10.0-17.0] mmHg vs 24.5 [13.0-35.0] mmHg, $p=0.01$ para la inicial) y 11.0 [8.0-22.0] mmHg vs 26.0 [20.0-32.0] mmHg $p=0.0001$) para la transferencia respectivamente (tabla 10).

La mediana de la tendencia de los valores de la capnometría, descrito como diferencias capnométricas transferencia-inicial de los donantes válidos fue de 1.5 [-10.0-9.0] mmHg mientras que la de los no válidos fue de -1.0 [-6.0-6.0] mmHg.

En resumen, se observaron diferencias en los valores de capnometría al comienzo de la RCP, en el momento de la transferencia y en la diferencia entre los valores de capnometría inicial-transferencia, presentando valores superiores los donantes válidos, respecto a los no válidos. Fueron significativas las capnometrías en el momento de la transferencia hospitalaria ($p=0.004$) entre donantes válidos y no válidos y la inicial entre los donantes válidos y los no válidos con extracción de riñones no válidos por mala perfusión ($p<0.01$).

TABLA 10.

Valores de capnometría en los riñones válidos y los riñones con mala perfusión.

RIÑONES DE DONANTES				
	Total N = 45	Válido N = 26	Mala reperusión N = 19	p-valor
Capnometría inicial	16.5 [12.0-32.0]	24.5 [13.0-35.0]	13.5 [10.0-17.0]	0,01
Capnometría mitad	22.0 [16.0-33.5]	22.5 [18.0-36.0]	20.0 [11.0-30.0]	0,152
Capnometría transferencia	22.0 [12.0-30.0]	26.0 [20.0-32.0]	11.0 [8.0-22.0]	<0.001
Tendencia capnometría	-0.5 [-9.0-12.0]	1.5 [-10.0-9.0]	-3.0 [-6.0-13.0]	>0.999

ANÁLISIS MULTIVARIABLE DE LOS FACTORES PREHOSPITALARIOS QUE PUEDEN INFLUIR EN LA VALIDEZ DE UN DANC

Con el objeto de identificar un modelo que pronostique de manera eficaz la validez de los donantes en asistolia no controlada, se realizó un análisis multivariante de las variables extrahospitalarias que pueden influir en la validez de estos donantes.

Se desarrolló un primer análisis univariante de estas variables, con el objetivo de seleccionar aquellas que tuvieran relación con el proceso de obtener un donante válido, optando por aquellas que presentaban una significación estadística menor de 0.2.

Con los resultados del análisis univariante, se elaboró un modelo multivariante completo y se ajustó para escoger aquellas variables que podrían explicar la variabilidad. Las variables con significación en el modelo univariante fueron: tipo de cardiocompresión extrahospitalaria (manual o mecánica), capnometría en la transferencia, recuperación de pulso en algún momento de la RCP, edad del donante, sexo del donante, causa de muerte cardíaca y tiempo de llegada al hospital desde el inicio de maniobras de RCP avanzada.

En el modelo multivariante los factores extrahospitalarios que resultaron ser estadísticamente significativos como predictores independientes para obtener un donante válido fueron: la edad del donante, la cardiocompresión mecánica, la recuperación transitoria del pulso en algún momento de la RCP y la capnometría en la transferencia (tabla 11). El sexo del donante, el tiempo de llegada al hospital desde el comienzo de la RCP avanzada y el fallecimiento por causa cardíaca, por el contrario, no resultaron ser variables significativas para la predicción de un donante válido (tabla 11).

Por tanto, donantes con menor edad, la cardiocompresión mecánica, la recuperación del pulso transitoriamente en algún momento de la RCP y valores altos de capnometría en la transferencia aumentan la probabilidad de obtener donantes válidos en los procedimientos de DANC (tabla 11).

TABLA 11.

Análisis multivariante de los factores predictores extrahospitalarios de validez del donante en asistolia no controlada.

	OR	95% IC	P-VALOR
Cardiocompresion extrahospitalaria			
Manual			
Mecánica	14.28	2.38, 100	0.009
Capnometría transferencia	1.08	1.02, 1.16	0.012
Recuperación pulso en algún momento			
No			
Sí	19.0	2.24, 265	0.013
Edad	0.91	0.83, 0.98	0.026
Sexo			
Masculino			
Femenino	0.32	0.02, 2.72	0.340
Causa cardíaca			
No			
Sí	0.60	0.15, 2.36	0.454
Tiempo llegada hospital desde RCP-avanzada	1.00	0.97, 1.04	0.869

Por otra parte, a partir de los coeficientes de este modelo multivariante, se construyó un Índice de Validez (tabla 12). Con los coeficientes del Índice, se calculó un valor para cada uno de los participantes en el estudio.

TABLA 12.

Coeficientes del Índice de Validez de las variables predictoras extrahospitalarias de la validez del donante.

ÍNDICE DE VALIDEZ	COEFICIENTES
Valor fijo	7,5
Edad	-0,096
Sexo femenino	-1,013
Capnometría transferencia	0,08
Causa cardiaca	-0,517
Cardiocompresión extrahospitalaria manual	-2,616
Recuperación circulación	2,943
Tiempo llegada hospital	0,003

Además, con el fin de comprobar el poder predictor de las diferentes variables extrahospitalarias, así como la bondad del Índice de Validez, se establecieron los puntos de corte óptimos para cada una de estas variables (basado en el Índice de Youden) y se determinaron: precisión, sensibilidad, especificidad, VPP y VPN de cada una de ellas y del modelo multivariante. El mejor predictor con mayor Área Bajo la Curva (ABC), como era de esperar, fue el modelo multivariante (figura 15) y, por tanto, el Índice de Validez que deriva de éste (tabla 13).

TABLA 13.

Poder predictor de la capnometría, tiempo de isquemia caliente y modelo multivariante.

PARÁMETRO	CAPNOMETRÍA INICIAL	CAPNOMETRÍA A LA MITAD	CAPNOMETRÍA TRANSFERENCIA	TENDENCIA CAPNOMETRÍA	ISQUEMIA CALIENTE	MODELO MULTIVARIANTE	ÍNDICE DE VALIDEZ
Punto de corte óptimo	32.000	23.000	17.000	3.000	142.000		4.366
Youden	0.252	0.062	0.481	0.085	0.194	0.609	0.609
Precisión	0.672	0.529	0.696	0.552	0.649	0.797	0.797
Sensibilidad	0.423	0.538	0.923	0.500	0.423	0.846	0.846
Especificidad	0.829	0.524	0.558	0.585	0.771	0.763	0.763
VPP	0.611	0.412	0.558	0.433	0.500	0.710	0.710
VPN	0.694	0.647	0.923	0.649	0.712	0.879	0.879

Se establecieron también los puntos de corte óptimos, para las distintas variables valoradas; por ejemplo, para la capnometría en la transferencia se estableció que 17 mmHg es el punto óptimo que mejor discrimina a donantes válidos, de los no válidos. Considerando

las variables individualmente, la capnometría en la transferencia fue el mejor predictor en el ámbito extrahospitalario, con mayor ABC. Se realizó una comparativa gráfica entre la capnometría en la transferencia con el Índice de Validez, compuesto por las variables significativas en el modelo multivariante, que se representa en las figuras 15 y 16. Se pone de manifiesto de nuevo el mejor perfil predictor del modelo multivariante/ Índice de Validez con respecto a las variables extrahospitalarias evaluadas.

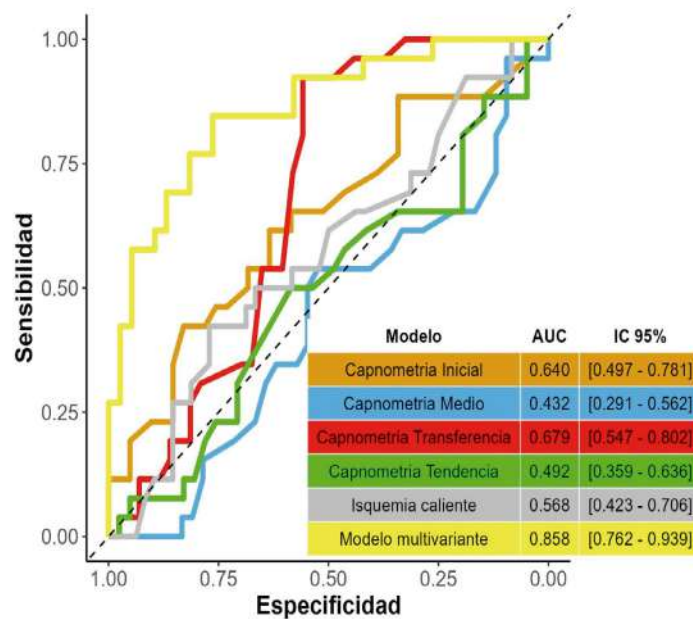


Figura 15. Curva del área bajo la curva de la capnometría, isquemia caliente y modelo multivariante.

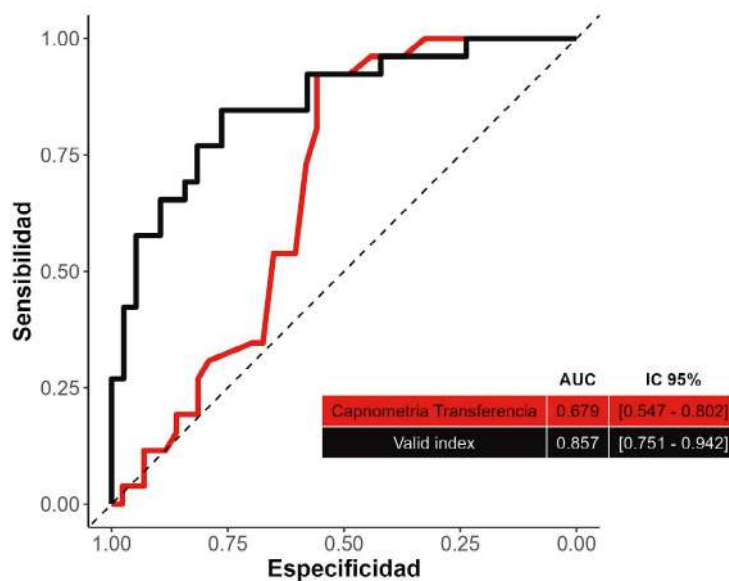


Figura 16. Curva del área bajo la curva de la capnometría en la transferencia y del modelo multivariante.

La figura 17 representa finalmente la matriz de confusión entre la predicción (predicción donante válido) y el resultado final (donante válido), con el objetivo de reflejar la efectividad del Índice de Validez, para predecir donantes válidos. Para esta valoración se ha establecido el punto de corte óptimo (4,366) reflejado en la tabla 13. Un Índice de Validez inferior a 4.366 predice que el donante no será válido ("Predicción donante válido NO"); un valor superior a 4.366 se consideraron como "Predicción donante válido SI". El Índice de Validez, en nuestro estudio, predijo la validez / no validez de los donantes en el 79.6% de los donantes. El resto de los parámetros de prueba diagnóstica (sensibilidad, especificidad, etc) se muestran en la figura 17.

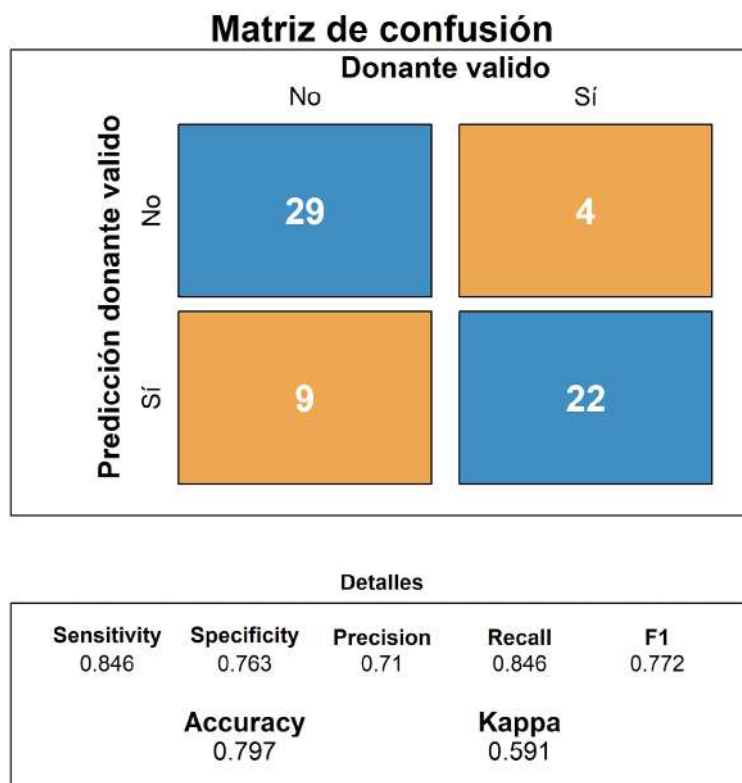


Figura 17. Matriz de concordancia con aplicación del Índice de VDR.

RECEPTORES RENALES

Características generales de los receptores renales

La mediana de edad de los 45 receptores trasplantados con los riñones obtenidos de los donantes válidos fue de 53 [43-58] años. Se trasplantaron en el Hospital Universitario Clínico San Carlos (21, 46.6%) riñones y en el Hospital Universitario 12 de Octubre (24, 53.3%) riñones (tabla 14).

Los riñones extraídos de los donantes se trasplantaron en el mismo hospital donde se realizó el procedimiento de recepción de los potenciales donantes de DANC. En el momento de la recogida de datos disponíamos de seguimiento al año en 42 receptores. En 3 casos el tiempo de observación desde el trasplante fue más corto (3,3,7 meses respectivamente) encontrándose estos tres últimos pacientes vivos y con riñón funcionando al cerrar la base de datos.

TABLA 14.
Características generales de los receptores.

RECEPTOR	N = 45
Edad	53.0 [43.0-58.0]
Hospital trasplante	
Hospital 12 de Octubre	24 (53.3%)
Hospital Clínico de San Carlos	21 (46.7%)
Órgano trasplante	
Riñón derecho	21 (46.7%)
Riñón izquierdo	24 (53.3%)

Creatinina y proteinuria

La mediana de creatinina en el primer mes fue de 2.37 [1.88-3.47] mg/dl, a los 6 meses fue de 1.55 [1.34-2.36] mg/dl y a los 12 meses de 1.46 [1.22-1.86] mg/dl.

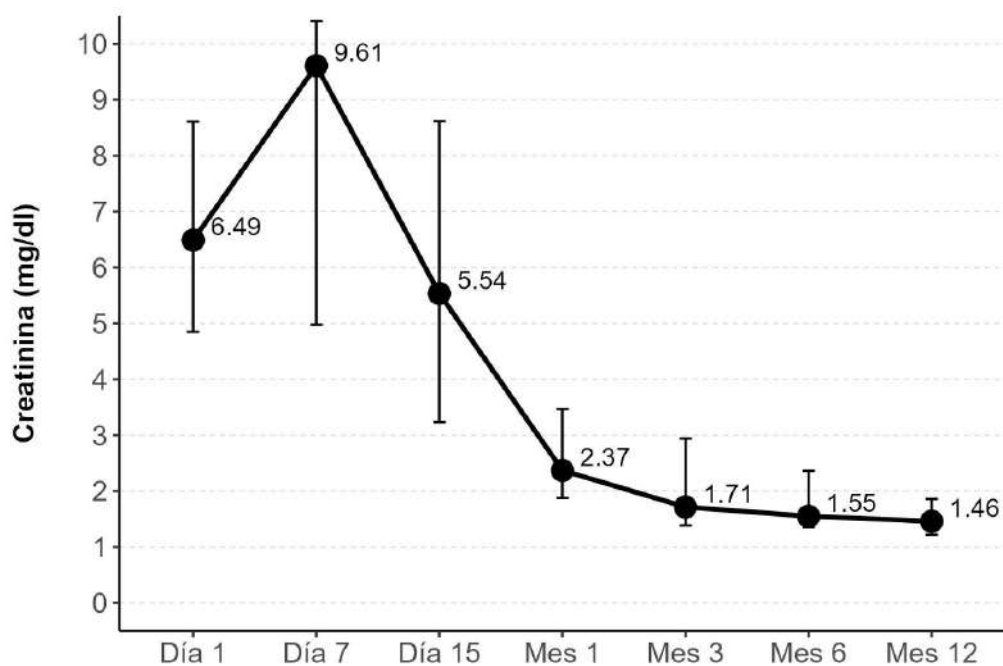


Figura 18. Representación gráfica de la mediana de los valores de creatinina sérica (mg/dl) a lo largo de un año tras el trasplante renal.

La mediana de la proteinuria en el primer mes fue de 0.26 [0.17-0.53] mg/dl, a los 6 meses de fue de 0.17 [0.17-0.53] mg/dl y a los 12 meses de 0.16 [0.11-0.26] mg/dl.

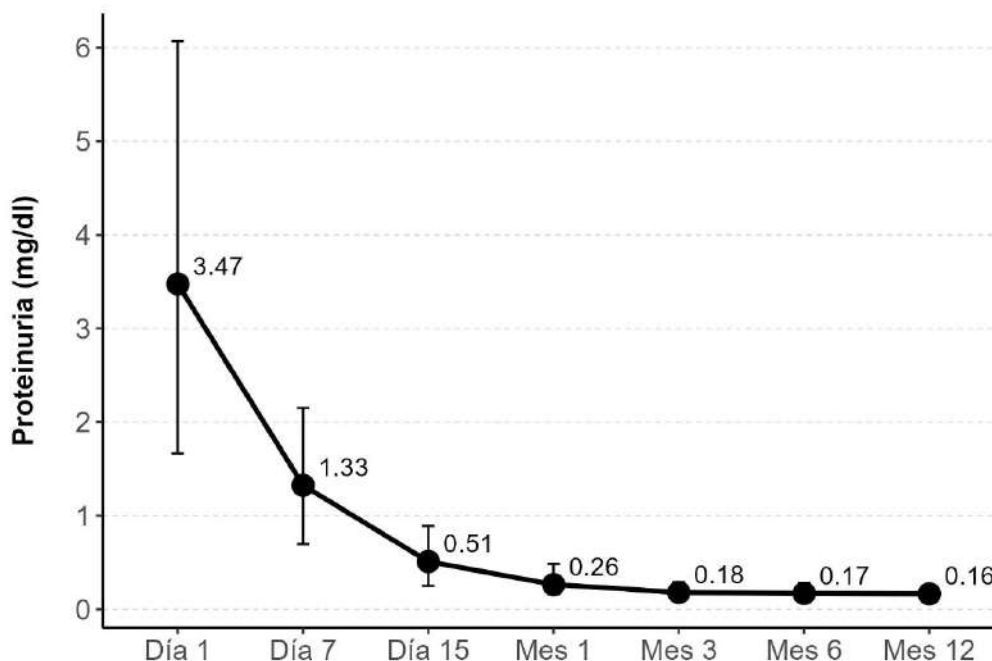


Figura 19. Representación gráfica de la mediana de los valores de proteinuria (mg/dl) a lo largo de un año tras el trasplante renal.

Función renal

La no función primaria (NFP), definida como ausencia de funcionamiento del injerto renal que nunca se revierte, manteniendo al paciente en diálisis, se produjo en 3 de los 45 receptores (6.66%).

El retraso de la función del injerto renal, definido como la necesidad de diálisis en la primera semana postrasplante, se observó en 26 de los 45 receptores (57.8%), siendo la mediana de días hasta la recuperación de la función renal para quedar libre de diálisis de 13.0 [8.5-17.0] días.

El número de diálisis que precisaron los receptores tras el trasplante renal fue variable, predominando los que no necesitaron ninguna sesión (19, 42.2%), seguido de los que precisaron 1 sesión (9, 20%).

Respecto a las complicaciones que se observaron en los receptores: 22 de 45 (48.9%) tuvieron alguna complicación urológica y 18 de 45 (40.0%) tuvieron infecciones relacionadas con la inmunosupresión en el contexto del ingreso hospitalario (tabla 15).

La incidencia de rechazo agudo en el primer año fue de tan solo un 4,4% (2/45).

TABLA 15.
Factores relacionados con la evolución de la función renal.

RECEPTOR	TOTAL
No función Primaria	3 (6.67%)
Rechazo agudo	2 (4.44%)
Retraso función renal	26 (57.8%)
Días hasta descenso de creatinina	13.0 [9.0-17.0]
Número diálisis tras trasplante	
0	19 (42.2%)
1	9 (20.0%)
2	8 (17.8%)
3	1 (2.22%)
4	4 (8.89%)
5	2 (4.44%)
6	2 (4.44%)
Complicaciones urológicas	22 (48.9%)
Infecciones relacionadas	18 (40.0%)

Supervivencia injerto y paciente

Analizando sólo los 42 pacientes que alcanzaron el año de evolución desde el trasplante, la supervivencia del paciente al año fue del 100% (42/42) y la supervivencia del injerto de un 92.8% (39/42). Los tres pacientes que no completaron el año estaban vivos y con injerto funcionando en el momento de la última observación registrada en la base de datos en los meses de mayo y octubre del 2024 respectivamente (tabla 16).

TABLA 16.
Supervivencia del injerto y del paciente al año.

	N	TOTAL
Supervivencia del injerto al año	42	39 (92.8%)
Supervivencia del paciente al año	42	42 (100.0%)

ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA FUNCIÓN RENAL Y SU RELACIÓN CON LA CAPNOMETRÍA DEL DONANTE

Se ha relacionado la evolución a corto plazo del injerto renal con la capnometría del donante DANC a través de las siguientes variables: no función primaria, retraso de la función del injerto renal (necesidad de diálisis al menos en la primera semana postrasplante), número de sesiones de diálisis postrasplante, nivel de recuperación de la función renal a través de las cifras de creatinina sérica al mes, tres meses y al año, complicaciones urológicas e infecciones relacionadas.

La incidencia de no función primaria (NFP), como se ha descrito anteriormente, fue sólo del 6.66% (3 de 45). No se encontraron diferencias en los valores de capnometría, en los distintos momentos de la PCR extrahospitalaria, entre los pacientes con NFP y los que presentaron buena evolución del injerto (tabla 17).

TABLA 17.

Relación del fallo renal con los valores de capnometría del donante.

NO FUNCIÓN PRIMARIA				
	Total N = 45	No N = 42	Sí N = 3	p-valor
Capnometría inicial	24.0 [13.0-35.0]	24.0 [13.0-35.0]	35.0 [16.0-40.0]	0.438
Capnometría mitad	22.0 [18.0-35.0]	22.0 [17.0-35.0]	23.0 [22.0-32.0]	0.523
Capnometría transferencia	22.0 [20.0-31.0]	22.0 [20.0-31.0]	22.0 [20.0-26.0]	0.748
Tendencia capnometría	0.0 [-9.0-9.0]	1.5 [-9.0-9.0]	-9.0 [-20.0-6.0]	0.399
Tiempo isquemia caliente	135.0 [119.0-150.0]	135.0 [116.0-150.0]	126.0 [125.0-162.0]	0.649

Se observaron diferencias en la capnometría en la transferencia, entre los 26 pacientes que necesitaban diálisis postrasplante durante la primera semana tras el trasplante (21.0 [18.0-26.0] mmHg) frente a los 19 receptores que no la precisaron (26.0 [22.0-36.0] mmHg) (p-valor 0.004). Ambos grupos no mostraron diferencias significativas en los tiempos de isquemia caliente (tabla 18).

TABLA 18.

Relación del retraso de la función renal con los valores de capnometría del donante.

RETRASO FUNCIÓN DEL INJERTO RENAL (DIÁLISIS EN LA PRIMERA SEMANA)				
	Total N = 45	No N = 19	Sí N = 26	p-valor
Capnometría inicial	24.0 [13.0-35.0]	24.0 [16.0-35.0]	29.0 [13.0-38.0]	0.653
Capnometría mitad	22.0 [18.0-35.0]	23.0 [17.0-35.0]	22.0 [18.0-32.0]	0.729
Capnometría transferencia	22.0 [20.0-31.0]	26.0 [22.0-36.0]	21.0 [18.0-26.0]	0.004
Tendencia capnometría	0.0 [-9.0-9.0]	5.0 [-4.0-13.0]	-5.0 [-10.0-6.0]	0.093
Tiempo isquemia caliente	135.0 [119.0-150.0]	142.0 [120.0-155.0]	126.0 [116.0-142.0]	0.078

También se observaron diferencias en los valores de la capnometría en la transferencia entre el grupo de 13 pacientes que precisó menos de 10 días para recuperar función renal (quedar libres de diálisis) (31.0 [22.0-36.0] mmHg) frente a los 32 que precisaron más de 10 días (22.0 [19.0-26.0] mmHg) (p-valor 0.018). Por el contrario, ambos grupos no mostraron diferencias significativas en los tiempos de isquemia caliente (tabla 19).

TABLA 19.

Relación entre los días hasta la recuperación de la función renal (quedar libres de diálisis) y los valores de capnometría del donante y tiempo de isquemia caliente.

DÍAS HASTA DESCENSO DE LOS VALORES DE CREATININA				
	Total N = 45	< 10 días N = 13	≥ 10 días N = 32	p-valor
Capnometría inicial	24.0 [13.0-35.0]	25.0 [19.0-35.0]	24.0 [13.0-36.5]	0.625
Capnometría mitad	22.0 [18.0-35.0]	23.0 [17.0-35.0]	22.0 [18.0-33.5]	0.802
Capnometría transferencia	22.0 [20.0-31.0]	31.0 [22.0-36.0]	22.0 [19.0-26.0]	0.018
Tendencia capnometría	0.0 [-9.0-9.0]	5.0 [0.0-13.0]	-3.5 [-10.5-6.0]	0.079
Tiempo isquemia caliente	135.0 [119.0-150.0]	142.0 [120.0-151.0]	128.5 [116.0-147.5]	0.408

No se observaron diferencias significativas entre los valores de la capnometría y el tiempo de isquemia caliente con las complicaciones urológicas e infecciosas (tabla 20 y 21).

TABLA 20.

Relación de las complicaciones urológicas del receptor, con los valores de capnometría del donante y el tiempo de isquemia caliente.

COMPLICACIONES UROLÓGICAS				
	Total N = 45	No N = 23	Sí N = 22	p-valor
Capnometría inicial	24.0 [13.0-35.0]	24.0 [13.0-32.0]	29.0 [13.0-38.0]	0.517
Capnometría mitad	22.0 [18.0-35.0]	22.0 [16.0-35.0]	22.0 [18.0-38.0]	0.290
Capnometría transferencia	22.0 [20.0-31.0]	22.0 [19.0-32.0]	24.0 [20.0-31.0]	0.784
Tendencia capnometría	0.0 [-9.0-9.0]	0.0 [-9.0-9.0]	1.0 [-11.0-9.0]	0.865
Tiempo isquemia caliente	135.0 [119.0-150.0]	142.0 [115.0-151.0]	128.5 [119.0-141.0]	0.265

TABLA 21.

Relación de las complicaciones infecciosas del receptor, con los valores de capnometría del donante y el tiempo de isquemia caliente.

INFECCIONES RELACIONADAS CON LA HOSPITALIZACIÓN				
	Total N = 45	No N = 27	Sí N = 18	p-valor
Capnometría inicial	24.0 [13.0-35.0]	25.0 [19.0-38.0]	17.5 [12.0-35.0]	0.246
Capnometría mitad	22.0 [18.0-35.0]	22.0 [18.0-35.0]	22.0 [17.0-28.0]	0.530
Capnometría transferencia	22.0 [20.0-31.0]	22.0 [20.0-32.0]	24.0 [19.0-30.0]	0.972
Tendencia capnometría	0.0 [-9.0-9.0]	0.0 [-9.0-6.0]	0.0 [-10.0-14.0]	0.594
Tiempo isquemia caliente	135.0 [119.0-150.0]	141.0 [120.0-151.0]	125.5 [116.0-142.0]	0.147

Tampoco se observaron diferencias entre los valores de capnometría en la supervivencia del injerto ni con la supervivencia del paciente al año, con cifras elevadas de ambas (tabla 22 y 23).

TABLA 22.

Relación de la supervivencia del injerto con los valores de capnometría del donante y el tiempo de isquemia caliente.

SUPERVIVENCIA DEL INJERTO AL AÑO				
	Total N = 42	No N = 3	Sí N = 39	p-valor
Capnometría inicial	25.0 [13.0-35.0]	39.0 [38.0-40.0]	21.0 [12.0-35.0]	0.101
Capnometría mitad	22.0 [17.0-35.0]	25.0 [18.0-32.0]	22.0 [17.0-35.0]	0.976
Capnometría transferencia	22.0 [20.0-31.0]	25.5 [20.0-31.0]	22.0 [19.0-31.0]	0.927
Tendencia capnometría	3.0 [-10.0-9.0]	-13.5 [-20.0--7.0]	3.0 [-10.0-9.0]	0.225
Tiempo isquemia caliente	131.0 [116.0-145.0]	133.0 [125.0-141.0]	131.0 [116.0-145.0]	>0.999

TABLA 23.

Relación supervivencia del paciente al año con valores de capnometría del donante y el tiempo de isquemia caliente.

SUPERVIVENCIA DEL PACIENTE AL AÑO				
	Total N = 42	No N = 0	Si N = 42	p-valor
Capnometría inicial	25.0 [13.0-35.0]	NA [NA-NA]	25.0 [13.0-35.0]	
Capnometría mitad	22.0 [17.0-35.0]	NA [NA-NA]	22.0 [17.0-35.0]	
Capnometría transferencia	22.0 [20.0-31.0]	NA [NA-NA]	22.0 [20.0-31.0]	
Tendencia capnometría	3.0 [-10.0-9.0]	NA [NA-NA]	3.0 [-10.0-9.0]	
Tiempo isquemia caliente	131.0 [116.0-145.0]	NA [NA-NA]	131.0 [116.0-145.0]	

Los niveles de capnometría en la transferencia se correlacionaron de forma inversa y significativa con los valores de la creatinina sérica en el día 1 y 15 tras el trasplante. Esta correlación presentó un valor de Rho de -0.48 y -0.4. No hubo correlación significativa de los valores de creatinina sérica durante el primer año con la capnometría al inicio, ni con la tendencia de la capnometría ni con el tiempo de isquemia caliente (figura 20).

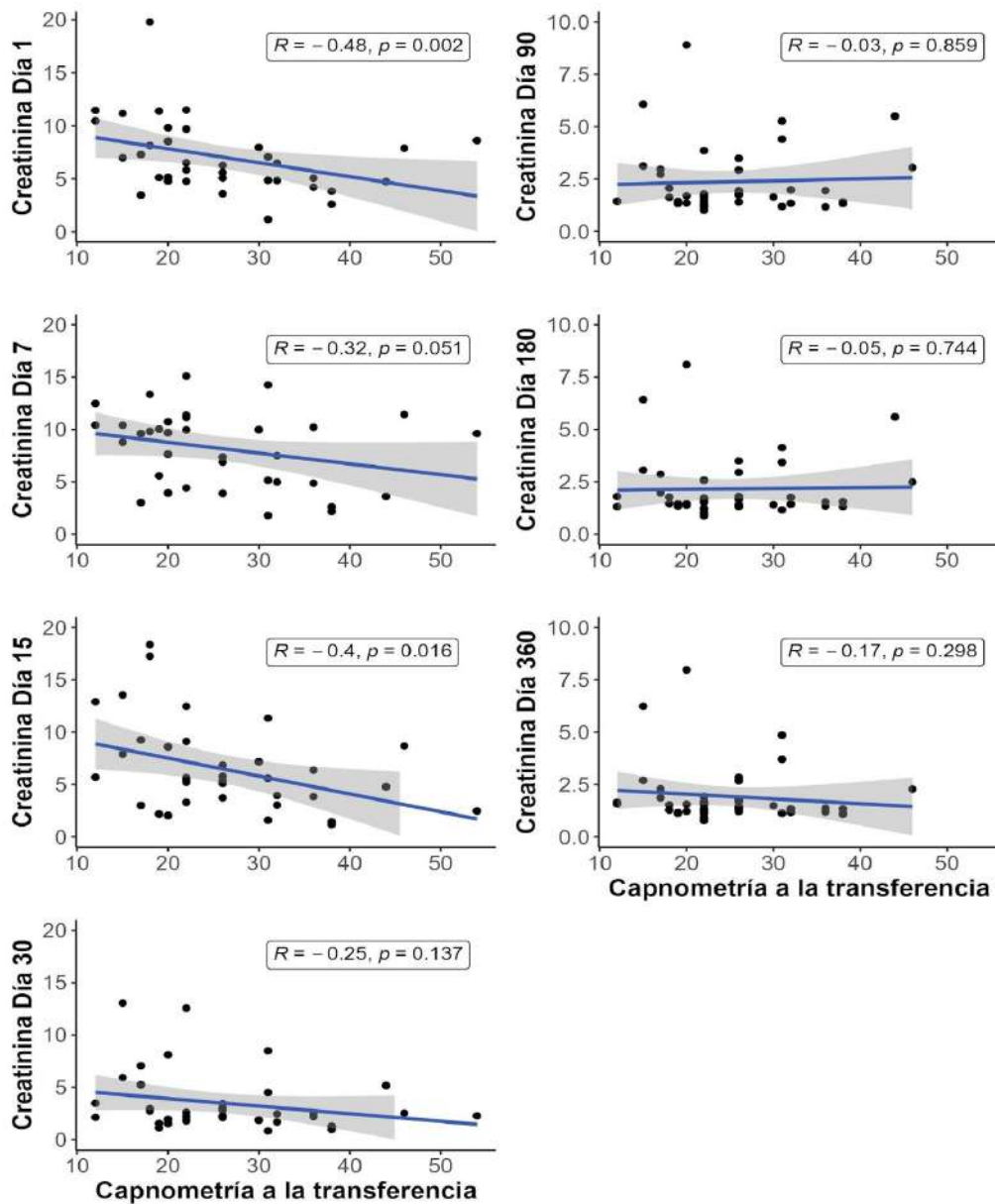


Figura 20. Representación gráfica de la relación de los valores de capnometría en la transferencia con los valores de creatinina (mg/dl) durante un año.

Se observó una correlación de forma directa y significativa entre los niveles de capnometría en la transferencia con los valores de la proteinuria en el día 1 con un valor Rho 0.6 (figura 21). Sin embargo, con el paso del tiempo se pierde esta correlación.

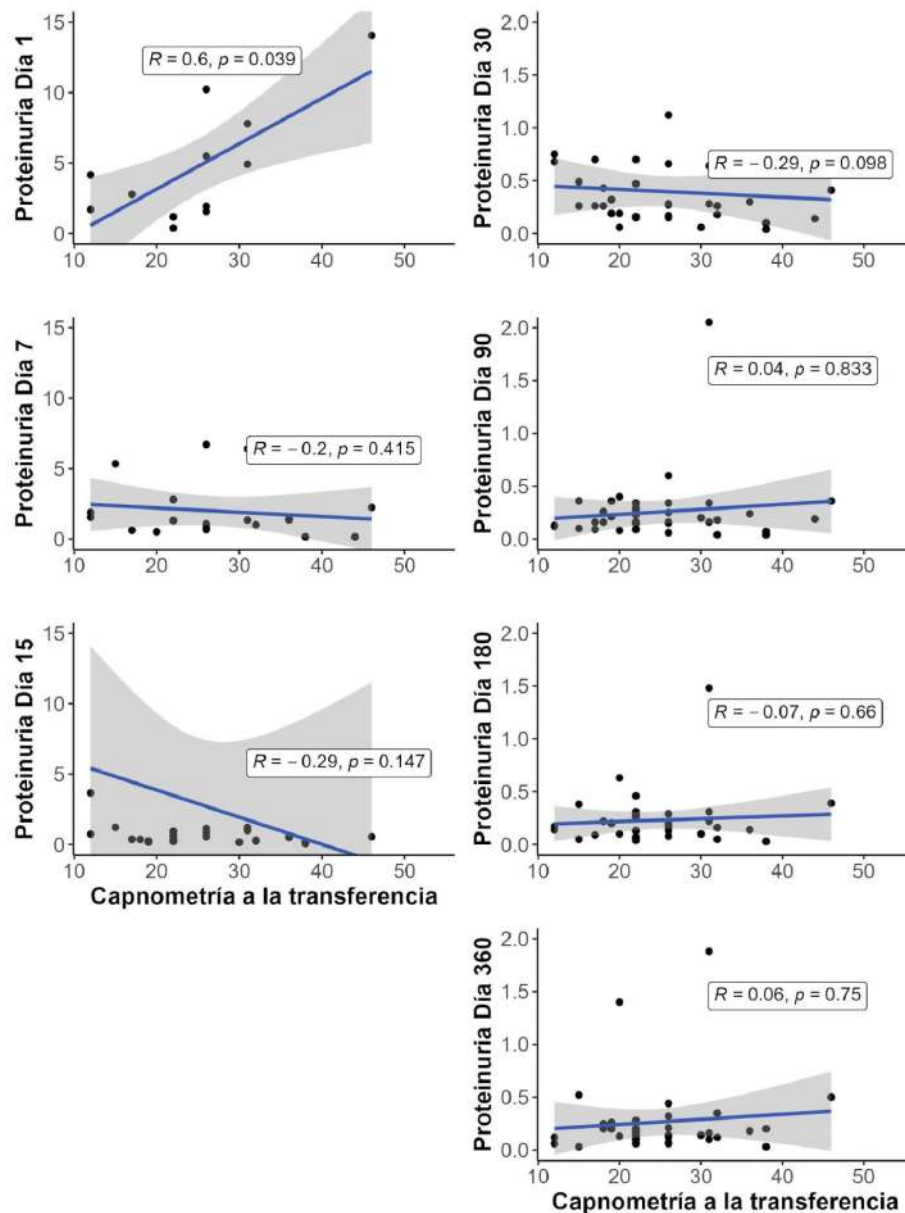


Figura 21. Representación gráfica de la relación de los valores de capnometría en la transferencia con los valores de proteinuria (mg/dl) durante un año.

Respecto al número de diálisis postrasplante, se observó una correlación negativa débil-moderada y significativa, entre el número de diálisis postrasplante y el valor de capnometría en la transferencia con un valor de Rho de -0.35 (figura 22).

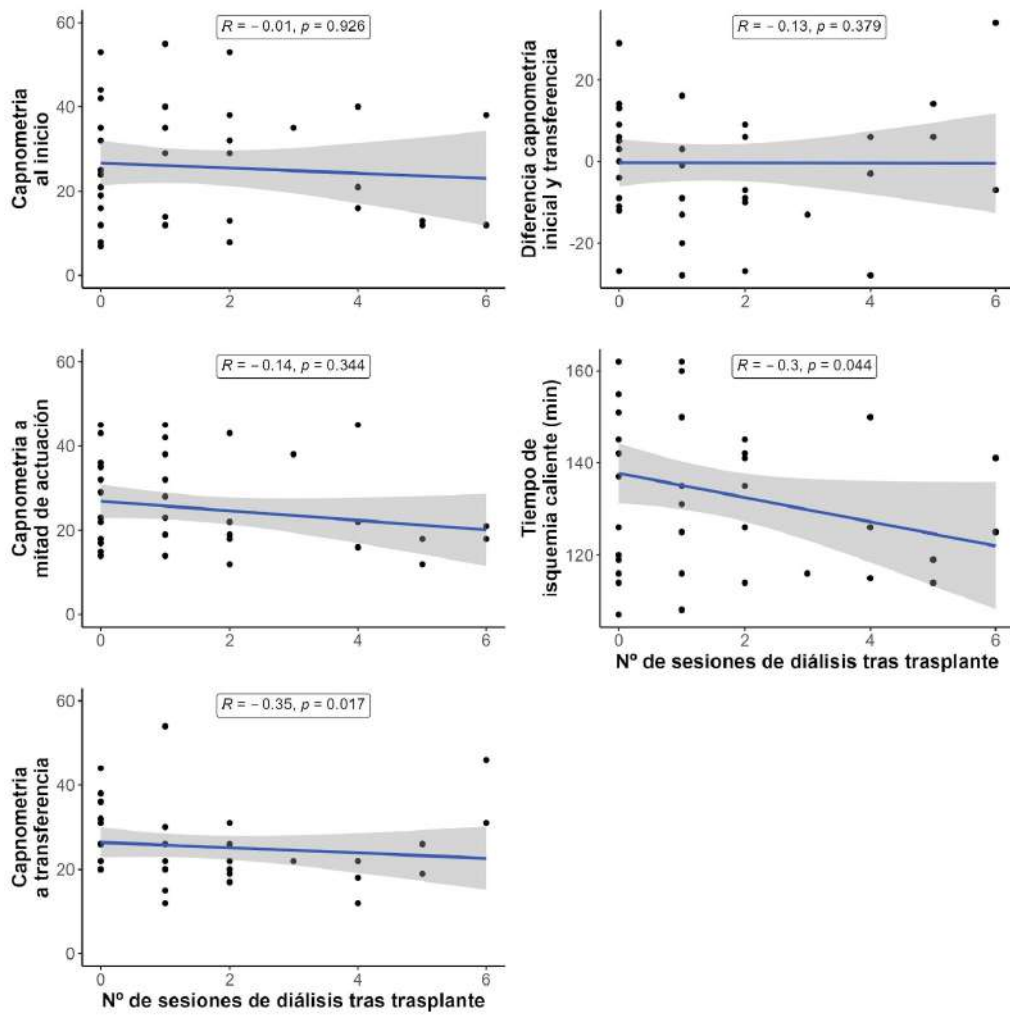


Figura 22. Representación gráfica de la relación entre el número de diálisis postrasplante y los valores de capnometría al inicio, a la mitad y en la transferencia hospitalaria, y la tendencia de la capnometría.

DISCUSIÓN

Antes de comenzar la discusión de los resultados, hay que destacar la complejidad del procedimiento de la DANC, que tiene múltiples factores que influyen en la validez de los donantes y la viabilidad de los órganos, tanto en el ámbito prehospitalario como en el hospitalario. Este tipo de donación ha sido y seguirá siendo una importante fuente de donantes, y aunque ha presentado un claro descenso en los últimos años, los resultados a largo plazo de los injertos renales obtenidos de estos donantes, son incluso mejores que los de los DAC. En cualquier caso, en la DANC se generan muchos donantes cuyos riñones, no son válidos por estar isquémicos, a causa de una mala perfusión, debido a diversos factores entre los que destacan: los tiempos de isquemia caliente prolongados, un inadecuado masaje cardíaco externo y un donante de edad avanzada con comorbilidades asociadas. Concretamente está descrito que hasta un 35% de los riñones extraídos de los DANC se descartan por su aspecto isquémico, tras la extracción⁵⁹.

En este trabajo de investigación clínica nos centramos en las variables prehospitalarias que puedan influir tanto en la validez de los donantes en asistolia no controlada como en la evolución de los injertos renales válidos de estos donantes una vez trasplantados, estudiando, entre otras, la capnometría del potencial donante que pocos estudios la han tenido en cuenta en este procedimiento de DANC. El objetivo de este estudio ha sido identificar, en el ámbito prehospitalario, las variables de los DANC, que nos van a servir como marcadores que vaticinen la validez de los donantes, con especial atención en la capnometría y así poder reducir la cifra de donantes no válidos⁴³. La reducción de DANC no válidos conllevaría una reducción en la futilidad del procedimiento, con el consiguiente ahorro económico y esfuerzo del personal sanitario. Al mismo tiempo, ayudaría a relanzar estos programas al reducir la frustración de los equipos implicados, evitando que, tras un ingente trabajo, se encuentren donantes no válidos.

Comenzando por la edad, los posibles donantes de los que finalmente se obtuvo algún órgano válido y trasplantado, presentaron una mediana de edad inferior respecto a los que no fueron válidos; concretamente existe 1,1 veces más probabilidades de donación por cada año que baja la edad del potencial donante. Este resultado concuerda con estudios previos⁴⁴. Con este dato, adquieren sentido los nuevos protocolos de DANC reiniciados en junio del 2021, con unos criterios de selección más estrictos en cuanto a la edad límite de 50 años para considerar como posible donante a pacientes con una PCR extrahospitalaria. De la misma manera, los injertos renales de donantes procedentes de DANC, con una edad superior a 50 años presentan, una vez trasplantados, un mayor riesgo de retraso en la función del injerto y unas mayores necesidades de diálisis postrasplante⁴⁵. Esta restricción en el criterio de edad en la DANC, contrasta con las estrategias de expansión de la edad límite de donación seguidas por la ONT en los últimos años para incrementar el número de donantes. La edad avanzada de los DANC pone en riesgo la viabilidad y función de sus órganos, por la menor capacidad que tienen éstos para recuperarse de las lesiones inducidas por el intenso estrés isquémico que existe en este particular proceso de donación.

Respecto a los factores de riesgo cardiovascular, se observó una relación positiva en cuanto a la obtención de órganos viables entre los pacientes que no tenían un diagnóstico de hipercolesterolemia. Esta relación puede estar causada por una buena situación cardiovascular del donante que favoreciera la viabilidad de los riñones^{46,47}. La asociación que se ha encontrado en nuestro estudio, entre los donantes válidos y la presencia de diabetes mellitus en sus antecedentes, probablemente es un hallazgo casual, condicionado por el limitado número de casos en la muestra. De hecho, la diabetes mellitus es un factor que predispone al daño isquémico tanto en los DANC⁴³ como en los DAC⁴⁴. Finalmente, hubo un menor porcentaje de donantes válidos entre los potenciales donantes que presentaban hipertensión arterial al compararlos con los potenciales donantes no hipertensos, aunque, esta asociación no fue estadísticamente significativa.

El traslado de los posibles donantes mediante cardiocompresión mecánica se relaciona con una mayor validez de los donantes, siendo 14.2 veces más probable obtener un donante válido si la asistencia de la PCR y posterior traslado, se realizaba con cardiocompresor mecánico que si se hacía con compresión manual. Los resultados sobre el uso del cardiocompresor mecánico, tanto en la PCR como en el proceso de DANC es controvertido, con resultados dispares^{48,49,50}. Hay investigaciones que aseguran que el cardiocompresor mecánico es un dispositivo con el que se obtienen menos órganos viables⁴⁸, mientras que otros estudios indican todo lo contrario⁵⁰ aunque ninguna de las experiencias muestra diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos (compresión mecánica vs manual). Nuestro estudio demuestra, con clara significación estadística, la mayor eficacia de la cardiocompresión mecánica frente a la manual para obtener DANC válidos. Con estos resultados recomendamos firmemente la inclusión de este dispositivo en los protocolos DANC, que además de su gran eficacia, añaden una mayor seguridad de los profesionales que intervienen en el procedimiento durante los traslados al hospital. Las recomendaciones de las guías de resucitación cardiopulmonar de la ERC resaltan la importancia de la utilización de los cardiocompresores mecánicos en la RCP de larga duración y durante el traslado de los posibles donantes^{38,51}.

La recuperación de pulso en una PCR es el principal objetivo que tienen todos los SEM cuando afrontan una RCP avanzada, aun sabiendo que las probabilidades de supervivencia sin daño neurológico son inferiores al 10%. Durante la PCR se produce un compromiso de la perfusión a los órganos vitales y secundariamente daño isquémico⁵². La recuperación de pulso durante la PCR, es un periodo en que el paciente mejora la perfusión de los órganos, aumentando su oxigenación por lo que podría ser un factor favorable para la viabilidad de los mismos una vez donados^{53,54}.

En nuestro estudio, objetivamos una relación entre la recuperación de pulso en algún momento durante la PCR con una mayor tasa de validez de los donantes, siendo 19 veces más probable obtener un donante válido si el posible donante presenta retorno transitorio de la circulación espontánea en algún momento durante el proceso de donación. Se trata del primer estudio que objetiva esta relación en la DANC, ya que otros estudios se han centrado en los donantes que han llegado con vida al hospital y finalmente presentaban lesiones encefálicas severas por anoxia y han sido valorados como donantes en muerte encefálica^{55,56,57,58}.

El tiempo es un factor fundamental y restrictivo en el proceso de DANC, siendo una variable relacionada con el daño isquémico de los órganos y con la evolución de los injertos renales⁵⁹. A pesar de que la DANC es un proceso con unos tiempos alargados, la reducción de los mismos en este tipo de donación, presenta un claro beneficio en el retraso de la función renal y en la no función primaria⁶⁰. La llegada de los SEM en menos de 15 minutos al lugar donde se ha producido la PCR y la llegada al hospital en menos de 120 minutos desde que se ha producido el cese de las funciones cardiorrespiratorias, son dos criterios esenciales que se incluyen en el protocolo de DANC del SUMMA 112.

Respecto a los tiempos prehospitalarios, en nuestro estudio, el tiempo desde la PCR hasta el inicio de maniobras de RCP avanzada por parte del SEM, el periodo desde el inicio de las maniobras de RCP avanzada hasta la llegada al hospital y el tiempo de isquemia caliente prehospitalaria presentaban una duración muy similar entre los donantes válidos y no válidos, con una diferencia de unos pocos minutos. De hecho, una significativa desviación de los tiempos que marca el protocolo DANC lleva al rechazo del potencial donante. En este sentido, y en el contexto de los estrictos criterios de aceptación que mancan los tiempos en el procedimiento DANC, se da la circunstancia que, en esta serie, el tiempo de isquemia caliente, de los donantes válidos fue más elevado que el de los no válidos. El tiempo de isquemia fría, aunque no es un tiempo prehospitalario, presentó unos tiempos cortos, como indica el protocolo de estos programas de donación, con el objetivo de disminuir daños isquémicos adicionales.

Estos datos sugieren que, la influencia de los tiempos prehospitalarios en el proceso de donación no es tan determinante, siempre que se mantengan alrededor de los límites establecidos por el protocolo.

Para el tiempo de isquemia caliente se estableció un punto de corte para predecir un donante válido de 142 minutos con una especificidad del 77%. Con este resultado, se establecería un punto de isquemia caliente máximo de 142 minutos, siendo 22 minutos más respecto a los actuales protocolos. Este resultado abre la puerta a alargar los tiempos máximos establecidos actualmente, para la llegada al hospital del SVA con el potencial DANC y así ampliar el número de donantes con los que puedan aparecer en área más distantes del hospital o con aquellos que puedan tener demoras en el traslado, por incidentes en la movilización.

Según las recomendaciones de Soporte Vital Avanzado, la capnografía es una monitorización esencial en todas las RCP avanzadas, ya que aporta información en relación a la efectividad y la calidad de las compresiones torácicas y la posibilidad del retorno de la circulación espontánea, sobre todo, cuando se produce un aumento de hasta 3 veces los valores que estaba presentando durante la RCP, aunque no se ha establecido un punto de corte o unos valores en los que la recuperación sea más probable.

En este sentido, la capnografía es una técnica no invasiva que puede ser útil en el proceso de donación ya que nos permite estimar la perfusión de los órganos y el gasto cardiaco de los posibles DANC e indirectamente conocer la situación metabólica de los órganos. Estudios preliminares la han descrito como una herramienta útil para selección de donantes con órganos viables⁶¹.

Hemos estimado una relación de los valores de capnometría en la transferencia con la validez de los DANC. Nuestro estudio demuestra que los donantes válidos tuvieron unos valores de capnometría en la transferencia significativamente más elevados que los donantes no válidos, demostrándose en un modelo multivariante como un factor de riesgo independiente para la predicción de la validez de los donantes en asistolia no controlada. Es la primera descripción sobre la gran utilidad de esta herramienta para evaluar la validez de un DANC. En este sentido, cada unidad, medida en mmHg, de capnometría en la transferencia se relaciona con 1.08 veces más probabilidad de obtener un donante válido.

Se estimó el punto de corte óptimo para los distintos momentos en los que se midió la capnometría durante toda la asistencia del SEM. La capnometría en la transferencia presentó un punto de corte óptimo de 17 mmHg, con una sensibilidad del 92.3% y un VPN de 92.3%, por lo que es una herramienta muy valiosa para desestimar posibles donantes cuando presenten valores de capnometría inferiores a 17mmHg. Es un dato útil tanto para los SEM como para los Coordinadores de Trasplantes, para discriminar rápidamente entre los candidatos a donación y los que no lo son, en el contexto de un procedimiento que exige tomar bajo presión decisiones inmediatas, en cuanto a movilización de gran cantidad de recursos materiales y humanos.

Modelo predictivo de viabilidad de un DANC

Se ha realizado un modelo predictivo con las variables extrahospitalarias que pudieran influir en la obtención de un donante válido. Las variables que se incluyeron fueron: capnometría en la transferencia, edad del donante, sexo del donante, causa cardiaca del fallecimiento, utilización del cardiocompresor mecánico en extrahospitalaria, recuperación circulatoria en algún momento y tiempo de llegada al hospital desde el inicio de la PCR. Estas variables fueron seleccionadas por ser consideradas esenciales en el proceso de donación durante la asistencia de los SEM.

Cuando aplicamos a nuestros DANC, un modelo multivariante con estas variables del ámbito extrahospitalario observamos que las que pueden influir de forma independiente en la validez de los donantes, fueron la capnometría en la transferencia, la cardiocompresión mecánica, la recuperación de pulso en algún momento durante la RCP y la edad del donante (todas ellas con resultados estadísticamente significativos). Este modelo no mostró relación significativa entre la validez de los donantes y el sexo del donante, la causa cardíaca del fallecimiento y el tiempo de llegada al hospital desde que se produce la PCR.

Por otra parte, analizamos el valor predictor de: la capnometría (al inicio, en la mitad del procedimiento, en la transferencia y en la diferencia entre el inicio y la transferencia), la isquemia caliente y del modelo multivariante, estableciéndose los puntos de corte óptimos para cada una de estas variables (basado en el Índice de Youden). Se determinaron: precisión, sensibilidad, especificidad, VPP y VPN, de cada una de ellas y del modelo multivariante. El mejor predictor con mayor ABC, como era de esperar, fue el modelo multivariante. Es interesante en este análisis, observar que la capnometría inicial, aunque poco sensible es muy específica y que valores altos de capnometría al inicio por encima de 32 son muy específicos para la validez del donante. Las medianas de capnometría al inicio entre los donantes válidos fueron más altas que entre los no válidos, con una diferencia que casi alcanzaba la significación estadística.

A partir de los coeficientes de las siete variables de este modelo multivariante, se construyó el Índice de Validez. Con los coeficientes del Índice, se calculó un valor para cada uno de los participantes en el estudio.

Mediante el Score del Índice de Validez del Donante, que hemos construido, se puede estimar con unas pocas variables la probabilidad de obtener un donante válido. Este índice, puede presentar una puntuación de 0 a 10, siendo 0 la mínima posibilidad y 10 la máxima, con una puntuación de partida, de todos los posibles donantes de 7.5 puntos. Se establece un punto de corte en 4.366 puntos, con el que se podría aceptar o rechazar el posible donante. Se trata de un Score novedoso, con el que estimar en minutos si un paciente que está siendo atendido por el SEM como potencial donante en asistolia no controlada puede ser finalmente un donante válido. El desarrollo de un software, en el que se introduzcan los valores de las 7 variables del modelo multivariante para la obtención de DANC válidos, permitirá conocer de inmediato y con alta probabilidad si un donante va a ser válido. Con esta herramienta, podremos interrumpir procedimientos de DANC cuyas probabilidades de éxito son escasas y lograremos más procedimientos DANC válidos, con menos riñones descartados.

Así pues, respecto al modelo estadístico desarrollado se podría concluir, que el valor límite de la capnometría en la transferencia sería de 17 mmHg, el tiempo de isquemia caliente podría aumentar hasta los 140 minutos, los pacientes deberían de ser trasladados mediante cardiocompresor mecánico, el límite de edad establecido sería de 50 años, presentar recuperación transitoria de pulso en algún momento de la RCP es un factor favorable, el motivo del fallecimiento no parece influir y el sexo masculino es beneficioso para la obtención de un donante válido.

Influencia de la capnometría en la función renal de los riñones de DANC

En cuanto a la capnometría de los donantes válidos cuyos riñones fueron trasplantados, nuestro estudio refleja que aquellos riñones trasplantados procedentes de DANC con capnometrías en la transferencia más bajas tenían un mayor daño isquémico, que se reflejó en un mayor retraso en la función del injerto, más días de recuperación de la función hasta permitir la suspensión de la diálisis y una peor función a los 15 días y al mes del trasplante

reflejada en unas cifras de creatinina sérica más altas. La correlación con la proteinuria el primer día postrasplante, fue directamente proporcional, perdiendo esa relación en las siguientes semanas. Este hecho puede explicarse por los múltiples factores que influyen en la proteinuria del receptor en los primeros días postrasplante (sonda urinaria, entre otros). Además, el número de diálisis postrasplante se relaciona significativamente con unos valores de capnometría en la transferencia más bajos, como ha sido corroborada en un estudio previo⁶². Estos resultados están en consonancia, con los observados con los valores de capnometría y la probabilidad de obtener donantes válidos, de tal manera que, cuanto mejores son los valores capnométricos entre los donantes válidos, se obtienen mejores resultados a corto plazo en el trasplante renal, en cuanto a, una mayor celeridad en la recuperación de la función del injerto renal, todo ello como reflejo de un menor daño isquémico en ese órgano durante el procedimiento de DANC.

Respecto a las complicaciones urológicas e infecciosas, no se encontró ninguna relación con los valores de la capnometría en la transferencia. Este análisis concuerda con los estudios anteriores, en los que las principales causas de complicaciones urológicas en estos receptores, están relacionadas con la cirugía y las maniobras que comprometen la vascularización⁶³. Y en el caso de las complicaciones infecciosas, el principal periodo en el que se producen son las primeras semanas postrasplantes y suelen estar relacionadas con infecciones del tracto urinario, CMV o infecciones relacionadas con la actividad quirúrgica⁶⁴.

Está descrito que el incremento brusco de los valores de capnometría se relaciona con mayor probabilidad de recuperación de pulso espontáneo y en consecuencia una mejor perfusión de los órganos. Este hecho está ligado con lo observado en este estudio, en cuanto a que la recuperación de pulso en algún momento durante la PCR se relaciona con una mayor validez de los donantes y una mejor evolución de los injertos renales. Así pues, parece haber una relación estrecha entre recuperación de pulso en algún momento, los valores de capnometría y la obtención de riñones aptos para el trasplante con mejor recuperación de la función renal en el receptor.

Este es el primer estudio que relaciona el retraso de la función del injerto renal con los niveles de la capnometría en el trasplante renal procedentes de DANC. Además, sugiere que aquellos donantes que tuvieron un mejor masaje cardíaco por cardiocompresión mecánica, con la consiguiente mejor perfusión tisular y niveles de capnometría más altos, sufrieron menos estrés isquémico y una mejor recuperación de la función de su injerto.

Por lo tanto, la capnometría en la transferencia del donante de los potenciales donantes en asistolia no controlada es un predictor tanto para establecer su validez, como para estimar la evolución precoz de la función de sus injertos renales trasplantados.

Supervivencia injerto renal y paciente

Este estudio muestra una inmejorable supervivencia al año de los receptores (100%) y de los injertos renales procedentes de donantes del programa de DANC (92,8%), tanto en el Hospital Universitario Clínico San Carlos como en el Hospital Universitario 12 de Octubre, siendo estos resultados equiparables a algún programa de DAC^{65,66} o incluso superiores a otros estudios, en los que la media de supervivencia del injerto al año está en torno al 90%^{66,67}. En la supervivencia de estos injertos renales pesan también importantes variables hospitalarias, como los procedimientos de preservación, el tiempo de isquemia fría y las pautas inmunosupresoras.

Limitaciones del estudio

La primera limitación de nuestro estudio es el corto tamaño de la muestra, ya que los pacientes que sufren una PCR extrahospitalaria tienen que cumplir unos criterios estrictos, previamente descritos, para ser considerados donantes. Además, en el momento de la recogida de datos, muchos profesionales no reflejaron el valor de la capnometría, ni de otras variables seleccionadas, tanto de los donantes como de los receptores, por lo que no pudieron ser incluidos en nuestro estudio. A esto hay que añadir la irrupción de la pandemia de COVID-19 en marzo del 2020 que paralizó el procedimiento de DANC hasta junio del 2021, por lo que no hay recogidos donantes en dicho periodo. A partir de dicha fecha, se reanudó de nuevo el procedimiento con modificaciones en la edad de inclusión del donante. Por razones logísticas hospitalarias se cerró el programa en el Hospital Universitario Clínico de San Carlos y en el Hospital Universitario 12 de Octubre se restringió el horario de esta actividad desde las 14 horas a 2 horas, por lo que el acceso a la donación fue más limitado que previamente a la pandemia. Muchos potenciales donantes que surgieron fuera de ese horario no pudieron entrar en el proceso de DANC.

Otra de las limitaciones surge al analizar las tasas de supervivencia del injerto y del paciente al año, ya que al ser ambas tan elevadas impiden su comparación con las variables extrahospitalarias que hemos recogido en el trabajo. La viabilidad y evolución de los órganos trasplantados depende también de otras variables hospitalarias, tales como: el tiempo de isquemia fría, complicaciones urológicas o infecciones, inmunosupresión o métodos de preservación de órganos. Respecto a la preservación de los órganos abdominales antes de la extracción, el Hospital Universitario 12 de Octubre utilizaba ECMO con circulación normotérmica y el Hospital Universitario Clínico San Carlos ECMO con circulación hipotérmica.

En cuanto al grupo de donantes no válidos, en los que ningún riñón, ni ningún otro órgano fue trasplantado, en muchas ocasiones no estaban recogidas las razones últimas que llevaron a descartar los órganos, aunque en un grupo considerable aparecen causas relacionadas con una mala perfusión. Este estudio demuestra unos valores capnométricos peores, en el grupo de donantes no válidos respecto al grupo de donantes válidos, por lo que el análisis resulta válido para predecir la validez de los donantes en asistolia no controlada. Además, en el grupo donde fue descrita mala perfusión como causa de no validez, los valores capnométricos eran también significativamente más bajos que en el grupo de donantes válidos. En cualquier caso, el sesgo que podría existir, iría en la dirección de reafirmar con mayor rotundidad nuestros resultados, ya que podríamos haber tenido en cuenta donantes no válidos por causas diferentes a la mala perfusión con capnometrías más altas en ese grupo.

Finalmente, los órganos obtenidos durante los 6 años de estudio fueron 45 riñones, 2 hígados y 2 pulmones. Estos resultados nos indican la dificultad para obtener de un órgano sólido válido diferente al riñón en los DANC. La muestra tan baja de hígados y de pulmones impide el análisis, estudio y evolución de estos órganos.

CONCLUSIONES

1. El valor de la capnometría en la transferencia es una herramienta útil para seleccionar los donantes válidos en el procedimiento DANC, con un punto de corte superior a 17 mmHg.
2. La edad límite del potencial donante en asistolia no controlada debe establecerse en 50 años, ya que se ha demostrado una relación inversamente proporcional entre la edad y las probabilidades de obtener un donante válido.
3. El traslado de los posibles donantes de asistolia no controlada con un cardiocompresor mecánico presentó 14.2 veces más probabilidades de obtener un donante válido que el traslado con compresiones manuales.
4. Los tiempos prehospitalarios en el proceso de donación en asistolia no controlada no se asociaron con la validez de los donantes. El hecho de que el tiempo de isquemia caliente fuera superior en los donantes válidos respecto a los que no lo fueron, abre la puerta a ampliar en los protocolos de DANC los tiempos límites establecidos para la aceptación de un potencial donante.
5. La recuperación transitoria de pulso espontáneo en algún momento de la parada cardiorrespiratoria en un potencial donante en asistolia no controlada se relacionó con una probabilidad 19 veces mayor de obtener un donante válido.
6. En el modelo multivariante, las variables de los posibles donantes en el ámbito extrahospitalario que influyen de forma independiente en la validez de los donantes fueron: la capnometría en la transferencia, la cardiocompresión mecánica, la recuperación transitoria del pulso en algún momento durante la resucitación cardiopulmonar y la edad del donante.
7. Basado en el modelo multivariante en el que se tuvieron en cuenta 7 variables extrahospitalarias (sexo y edad del donante, causa de muerte cardíaca, tipo de cardiocompresión, tiempo de RCP avanzada, recuperación transitoria del pulso espontáneo y capnometría en la transferencia), se estableció un Score, que denominamos Índice de Validez del Donante, como herramienta rápida para estimar la probabilidad de obtener un donante válido. Puntuaciones de este índice superiores a 4,36 vaticinarían la validez del donante.
8. El valor de la capnometría en la transferencia del donante es un predictor para estimar la evolución de los injertos renales postrasplante, observándose por una parte, que valores más altos de la misma se relacionaron con menor retraso en la función del injerto renal y menos días hasta la recuperación de su función, y por otra que existía una correlación inversamente proporcional entre la capnometría en la transferencia y el número de diálisis postrasplante y los niveles de creatinina sérica en los días 1 y 15 de evolución.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Evans RW, Manninen DL, Garrison LP Jr, Hart LG, Blagg CR, Gutman RA, Hull AR, Lowrie EG. The quality of life of patients with end-stage renal disease. *N Engl J Med*. 1985 Feb 28;312(9):553-9.
2. Oniscu GC, Brown H, Forsythe JL. Impact of cadaveric renal transplantation on survival in patients listed for transplantation. *J Am Soc Nephrol*. 2005 Jun;16(6):1859-65.
3. Wolfe RA, Ashby VB, Milford EL et al. Comparison of mortality in all patients on dialysis, patients on dialysis awaiting transplantation, and recipients of a first cadaveric transplant. *N Engl J Med* 1999; 341: 1725–1730.
4. Actividad de Donación y Trasplante. Organización Nacional de Trasplantes. España 2022. Disponible en: <https://www.ont.es/wp-content/uploads/2023/06/DONACION-Y-TRASPLANTE-GENERAL-2022.pdf>. Último acceso: abril 2024.
5. Goldfarb-Rumyantzev A, Hurdle JF, Scandling J, Wang Z, Baird B, Barenbaum L, Cheung AK. Duration of end-stage renal disease and kidney transplant outcome. *Nephrol Dial Transplant*. 2005 Jan;20(1):167-75.
6. Winkelmayr WC, Weinstein MC, Mittleman MA, Glynn RJ, Pliskin JS. Health economic evaluations: the special case of end-stage renal disease treatment. *Med Decis Making*. 2002 Sep-Oct;22(5):417-30.
7. Arrieta J. Evaluación económica del tratamiento sustitutivo renal (hemodiálisis, diálisis peritoneal y trasplante). *Nefrología* 2010;1(Supl Ext 1): 37-47.
8. Plan estratégico de donación y trasplante de órganos 2018-2022. Organización Nacional de Trasplantes. Disponible en: <https://www.ont.es/wp-content/uploads/2023/06/PLAN-ESTRATEGICO-DONACION-Y-TRASPLANTE-DE-ORGANOS-2018-2022.pdf>. Último acceso marzo del 2023.
9. Memoria actividad donación y trasplante España (2023). Organización Nacional de Trasplantes. España 2023. Disponible en: <https://www.ont.es/wp-content/uploads/2024/03/ACTIVIDAD-DE-DONACION-Y-TRASPLANTE-ESPANA-2023.pdf>. Último acceso marzo 2024.
10. Domínguez-Gil B, Coll E, Pont T, Lebrón M, Miñambres E, Coronil A, Quindós B, Herrero JE, Liébanas C, Marcelo B, Sanmartín AM, Matesanz R; en representación del Consorcio ACCORD-España. End-of-life practices in patients with devastating brain injury in Spain: implications for organ donation. *Med Intensiva*. 2017 Apr;41(3):162-173.
11. Boletín Oficial del Estado. Ley 30/179, de 27 de octubre, de extracción y trasplante de órganos. BOE núm 266: 6/11/1979.
12. Real Decreto 1723/2012, de 28 de diciembre, por el que se regulan las actividades de obtención, utilización clínica y coordinación territorial de los órganos humanos destinados al trasplante y se establecen requisitos de calidad y seguridad.
13. Ad Hoc Committee of the Harvard Medical School. A definition of irreversible coma. Report of the Ad Hoc Committee of the Harvard Medical School to Examine the Definition of Brain Death. *Jama* 1968;205(6):337-340.
14. Weber M, Dindo D, Demartines N, Ambühl PM, Clavien PA. Kidney transplantation from donors without a heartbeat. *N Engl J Med*. 2002 Jul 25;347(4):248-55.
15. Detry O, Le Dinh H, Noterdaeme T, De Roover A, Honoré P, Squifflet JP, Meurisse M. Categories of donation after cardiocirculatory death. *Transplant Proc*. 2012 Jun;44(5):1189-95.
16. Thuong M, Ruiz A, Evrard P, Kuiper M, Boffa C, Akhtar MZ, Neuberger J, Ploeg R. New classification of donation after circulatory death donors definitions and terminology. *Transpl Int*. 2016 Jul;29(7):749-59.
17. Portolés Pérez J, Rubio Muñoz JJ, Lafuente Covarrubias O, Sánchez-Sobrinó B, Carballido Rodríguez J, Rodríguez Reina G, et al. Desarrollo de un programa de trasplante renal con órganos procedentes de donación tras asistolia controlada, tipo III de Maastricht. *Nefrología*. 2012 Jun;32 (6):754-9.
18. Donación en asistolia en España: situación actual y recomendaciones. Documento de consenso. Organización Nacional de Trasplantes. 2012. Disponible en: <http://www.ont.es/infesp/DocumentosDeConsenso/DONACION%20EN%20ASISTOLIA%20EN%20ESPA%C3%91A.%20SITUACION%20ACTUAL%20Y%20RECOMENDACIONES.pdf>. Último acceso mayo del 2024.

19. De Gracia MC, Osorio JM, Pérez-Villares JM, Galindo P, Ruiz MC, Pérez-Marfil A, Bravo J, Osuna A. A new program of kidney transplantation from donors after cardiac death in Spain. *Transplant Proc.* 2012 Nov;44(9):2518-20.
20. Sánchez-Fructuoso AI, Prats D, Torrente J, Pérez-Contín MJ, Fernández C, Alvarez J, Barrientos A. Renal transplantation from non-heart beating donors: a promising alternative to enlarge the donor pool. *J Am Soc Nephrol.* 2000 Feb;11(2):350-358.
21. Rouhi AD, Choudhury RA, Hoeltzel GD, Prins K, Yoeli D, Moore HB, Williams NN, Dumon KR, Nydam TL. Uncontrolled donation after cardiac death kidney transplantation: Opportunity to expand the donor pool? *Am J Surg.* 2023 Jun;225(6):1102-1107.
22. Observatorio Global de Donación y Trasplante. Accesible en: <http://www.transplant-observatory.org/pages/home.aspx>. Último acceso: abril 2024.
23. Summers DM, Pettigrew GJ. Kidney transplantation following uncontrolled donation after circulatory death. *Curr Opin Organ Transplant.* 2020 Apr;25(2):144-150.
24. Vijayan K, Schroder HJ, Hameed A, Hitos K, Lo W, Laurence JM, Yoon PD, Nahm C, Lim WH, Lee T, Yuen L, Wong G, Pleass H. Kidney Transplantation Outcomes From Uncontrolled Donation After Circulatory Death: A Systematic Review and Meta-analysis. *Transplantation.* 2024 Jun 1;108(6):1422-1429.
25. Coll E, Miñambres E, Sánchez-Fructuoso A, Fondevila C, Campo-Cañaverl de la Cruz JL, Domínguez-Gil B. Uncontrolled Donation After Circulatory Death: A Unique Opportunity. *Transplantation.* 2020 Aug;104(8):1542-1552.
26. Smith M, Dominguez-Gil B, Greer DM, Manara AR, Souter MJ. Organ donation after circulatory death: current status and future potential. *Intensive Care Med.* 2019 Mar;45(3):310-321.
27. Miñambres E, Suberviola B, Guerra C, Lavid N, Lassalle M, Gonzalez-Castro A et al. Experience of a Maastricht type II non heart beating donor program in a small city: preliminary results. *Medicina intensiva* 2015;39(7):433-441.
28. Resumen Ejecutivo de la memoria anual de actividad del Servicio Madrileño de Salud. Consejería de Sanidad. Año 2023. Disponible en: https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/sanidad/memo/resumen_ejecutivo_memoria_sermas-2023.pdf. Último acceso: febrero 2024.
29. Servicios de Urgencias y Emergencias 112/061 del Sistema Nacional de Salud. Ministerio de Sanidad. España 2020. Accesible en: <https://pestadistico.inteligenciadegestion.sanidad.gob.es/publicoSNS/D/sistema-de-informacion-de-atencion-primaria-siap/urgencias-y-emergencias-112-061/definiciones>. Último acceso: febrero 2022.
30. Barroeta Urquiza J, Boada Bravo N (Coord.). Los servicios de emergencia y urgencias médicas extrahospitalarias en España. Madrid: Editorial Mensor; 2011.
31. INE. (2023). Censo de Población y Viviendas 2023. Madrid: Instituto Nacional de Estadística.
32. Informe de la Memoria del Summa 112 en 2022. Accesible en: <https://www.comunidad.madrid/hospital/summa112/nosotros/memorias-summa-112>.
33. Cereceda-Sánchez FJ, Molina-Mula J. Capnography as a tool to detect metabolic changes in patients cared for in the emergency setting. *Rev Lat Am Enfermagem.* 2017 May 15;25:288-95.
34. Pishbin E, Ahmadi GD, Sharifi MD, Deloei MT, Shamloo AS, Reihani H. The correlation between end-tidal carbon dioxide and arterial blood gas parameters in patients evaluated for metabolic acid-base disorders. *Electron Physician.* 2015;7(3):1095-1101.
35. Díez Picazo LD, Barrado-Muñoz L, Blanco-Hermo P, Barroso-Matilla S, Espinosa-Ramírez S. La capnografía en los servicios de emergencia médica. *Semergen.* 2009; 35(3):138- 43.
36. Cereceda-Sánchez FJ, Molina-Mula J. Use of supraglottic airway devices under capnography monitoring during cardiopulmonary resuscitation: A systematic review. *Aust Crit Care.* 2021 May;34(3):287-295.
37. Miner JR, Heegaard W, Plummer D. End-tidal carbon dioxide monitoring during procedural sedation. *Acad Emerg Med.* 2002 Apr;9(4):275-80.
38. Soar J, Böttiger BW, Carli P, Couper K, Deakin CD, Djäv T, Lott C, Olasveengen T, Paal P, Pellis T, Perkins GD, Sandroni C, Nolan JP. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation.* 2021 Apr;161: 115-151.

39. Sandroni C, De Santis P, D'Arrigo S. Capnography during cardiac arrest. *Resuscitation*. 2018 Nov; 132:73-77.
40. Sheak KR, Wiebe DJ, Leary M, Babaeizadeh S, Yuen TC, Zive D, Owens PC, Edelson DP, Daya MR, Idris AH, Abella BS. Quantitative relationship between end-tidal carbon dioxide and CPR quality during both in-hospital and out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2015 Apr; 89:149-54.
41. Benoit JL, Lakshmanan S, Farmer SJ, Sun Q, Gray JJ, Sams W, Tadesse DG, McMullan JT. Ventilation rates measured by capnography during out-of-hospital cardiac arrest resuscitations and their association with return of spontaneous circulation. *Resuscitation*. 2023 Jan; 182:113-21.
42. Pantazopoulos C, Xanthos T, Pantazopoulos I, Papalois A, Kouskouni E, Iacovidou N. A Review of Carbon Dioxide Monitoring During Adult Cardiopulmonary Resuscitation. *Heart Lung Circ*. 2015 Nov; 24(11):1053-61.
43. Del Río F, Andrés A, Padilla M, Sánchez-Fructuoso AI, Molina M, Ruiz Á, Pérez-Villares JM, Peiró LZ, Aldabó T, Sebastián R, Miñambres E, Pita L, Casares M, Galán J, Vidal C, Terrón C, Castro P, Sanroma M, Coll E, Domínguez-Gil B; Spanish Group for the Study of Donation after Circulatory Death. Kidney transplantation from donors after uncontrolled circulatory death: the Spanish experience. *Kidney Int*. 2019 Feb; 95(2):420-428.
44. Manara AR, Murphy PG, O'Callaghan G. Donation after circulatory death. *Br J Anaesth*. 2012 Jan; 108 Suppl 1:i108-21.
45. Domínguez-Gil B, Duranteau J, Mateos A, Núñez JR, Cheisson G, Corral E, De Jongh W, Del Río F, Valero R, Coll E, Thuong M, Akhtar MZ, Matesanz R. Uncontrolled donation after circulatory death: European practices and recommendations for the development and optimization of an effective programme. *Transpl Int*. 2016 Aug; 29(8):842-59.
46. Hattori R, Ono Y, Yoshimura N, Hoshinaga K, Nishioka T, Ishibashi M, Ohshima S. Long-term outcome of kidney transplant using non-heart-beating donor: multicenter analysis of factors affecting graft survival. *Clin Transplant*. 2003 Dec; 17(6):518-21.
47. Fernández-Fresnedo G, Zubimendi JA, Cotorruelo JG, de Francisco AL, Ruiz JC, Rodrigo E, Heras M, Piñera C, Arias M. Significance of age in the survival of diabetic patients after kidney transplantation. *Int Urol Nephrol*. 2002; 33(1):173-7.
48. Mateos Rodríguez AA, Andrés Belmonte A, Del Río Gallegos F, Coll E. Factores que influyen en la evolución de los injertos de donantes tras muerte cardiaca extrahospitalaria. *Emergencias*. 2017 Jun; 29(3):167-172.
49. Mateos Rodríguez AA, Andrés Belmonte A, Egea Guerrero JJ, Elosegui Itxaso L, Sánchez Vila M, Mosteiro Pereira F, Ruiz Á, Pérez Villares JM. Use of mechanical cardiocompressor in uncontrolled donation after cardiac death. *Resuscitation*. 2018 May; 126:46-48.
50. Azeli Y, Barbería E, Fernández A, García-Vilana S, Bardají A, Hardig BM. Chest wall mechanics during mechanical chest compression and its relationship to CPR-related injuries and survival. *Resusc Plus*. 2022 May 11; 10:84-93.
51. Lott C, Truhlář A, Alfonzo A, Barelli A, González-Salvado V, Hinkelbein J, Nolan JP, Paal P, Perkins GD, Thies KC, Yeung J, Zideman DA, Soar J; ERC Special Circumstances Writing Group Collaborators. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation*. 2021 Apr; 161:152-219.
52. Sandroni C, De Santis P, D'Arrigo S. Capnography during cardiac arrest. *Resuscitation*. 2018 Nov; 132:73-77.
53. Lazzeri C, Peris A. Assessment and treatment of ischemia reperfusion injury: The real challenge of uncontrolled donation after circulatory death. *Resuscitation*. 2019 Aug; 141:207-208.
54. Strohmenger HU, Lindner KH, Wiene W, Radermacher P. Effects of an angiotensin II antagonist on organ perfusion during the post-resuscitation phase in pigs. *Crit Care*. 1998; 2(2):49-55.
55. Manara A, Domínguez-Gil B. Controlling the uncontrolled: Can we realise the potential of uncontrolled donation after circulatory death? *Resuscitation*. 2019 Apr; 137:234-236.
56. Lazzeri C, Bonizzoli M, Franci A, Cianchi G, Batacchi S, Ciapetti M, Fulceri GE, Rugna M, Peris A. Out of hospital cardiac arrest and uncontrolled donation after circulatory death in a tertiary cardiac arrest center. *Eur J Emerg Med*. 2020 Aug; 27(4):279-283.

57. Manara AR, Dominguez-Gil B. Reply to: "Assessment and treatment of ischemia reperfusion injury: The real challenge of uncontrolled donation after circulatory death". *Resuscitation*. 2019 Jul;140:221-222.
58. Coll E, Miñambres E, Sánchez-Fructuoso A, Fondevila C, Campo-Cañaveral de la Cruz JL, Domínguez-Gil B. Uncontrolled Donation After Circulatory Death: A Unique Opportunity. *Transplantation*. 2020 Aug;104(8):1542-1552.
59. Molina M, Guerrero-Ramos F, Fernández-Ruiz M, González E, Cabrera J, Morales E, Gutierrez E, Hernández E, Polanco N, Hernández A, Praga M, Rodríguez-Antolín A, Pamplona M, de la Rosa F, Cavero T, Chico M, Villar A, Justo I, Andrés A. Kidney transplant from uncontrolled donation after circulatory death donors maintained by nECMO has long-term outcomes comparable to standard criteria donation after brain death. *Am J Transplant*. 2019 Feb;19(2):434-447.
60. Miñambres E, Rodrigo E, Suberviola B, Valero R, Quintana A, Campos F, Ruiz-San Millán JC, Ballesteros MÁ. Strict selection criteria in uncontrolled donation after circulatory death provide excellent long-term kidney graft survival. *Clin Transplant*. 2020 Sep;34(9):74-88.
61. Mateos Rodríguez A, Varillas Delgado D, Villar Arias A, Rubio Chacón C, Andrés Belmonte A. Capnometry levels as an indicator of renal graft evolution in uncontrolled non-heart beating donors. *Med Intensiva (Engl Ed)*. 2020 May;44(4):233-238.
62. Rubio-Chacón C, Mateos-Rodríguez A, Neria-Serrano F, Del Rio-Gallegos F, Andrés-Belmonte A. Influence of donor capnometry on renal graft evolution in uncontrolled donation after circulatory death. *Resuscitation*. 2023 Aug;189:863- 69.
63. Gonzalo Rodríguez V, Rivero Martínez MD, Trueba Arguiñarena J, Calleja Escudero J, Müller Arteaga C, Fernandez del Busto E. Diagnóstico y tratamiento de las complicaciones urológicas del trasplante renal. *Actas Urol Esp*. 2006 Jun;30(6):619-25.
64. García-Prado ME, Cordero E, Cabello V, Pereira P, Torrubia FJ, Ruíz M, Cisneros JM. Complicaciones infecciosas en 159 receptores de trasplante renal consecutivos. *Enferm Infecc Microbiol Clin*. 2009 Jan;27(1):22-7.
65. Hanf W, Cudas R, Meas-Yedid V, Berthiller J, Buron F, Chauvet C et al. Kidney graft outcome and quality (after transplantation) from uncontrolled deceased donors after cardiac arrest. *American journal of transplantation*. 2012;12(6):1541-1550.
66. Demiselle J, Augusto JF, Videcoq M, Legéard E, Dubé L, Templier F, Renaudin K, Sayegh J, Karam G, Blanco G, Dantal J. Transplantation of kidneys from uncontrolled donation after circulatory determination of death: comparison with brain death donors with or without extended criteria and impact of normothermic regional perfusion. *Transpl Int*. 2016 Apr;29(4):432-42.
67. Diekmann F, Campistol JM, Saval N, Gutiérrez-Dalmau A, Arellano EM, Crespo M, Rossich E, Esforzado N, Cofán F, Ricart MJ, Torregrosa JV, Oppenheimer F. Sequential quadruple immunosuppression including sirolimus in extended criteria and nonheartbeating donor kidney transplantation. *Transplantation*. 2007 Aug 15;84(3):429-32.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la actividad trasplantadora por órganos (tasa pmp) en España 1989- 2023.	16
Figura 2. Número total y tasa anual (pmp) de donantes de órganos en España 1993-2023.	17
Figura 3. Número total y tasa anual (pmp) de donantes de órganos según el tipo de donante en España 2001-2023.	18
Figura 4. Evolución del número de asistolia en función del tipo de donación (Maastricht) y del porcentaje de los donantes en asistolia sobre el total de donantes, en España 2014-2023.	21
Figura 5. Clasificación por tipo de donante en la Comunidad de Madrid.	23
Figura 6. Procedimiento de donación en asistolia no controlada del SUMMA 112 hasta marzo del 2020.	28
Figura 7. Procedimiento de donación en asistolia no controlada del SUMMA 112 a partir del 1 de junio del 2021.	29
Figura 8. Tiempos en el procedimiento de donación en asistolia no controlada.	30
Figura 9. Representación gráfica de las fases del capnograma.	32
Figura 10. Diagrama de flujo la donación en asistolia no controlada del 2018 al 2023.	48
Figura 11. Número de órganos obtenidos en la DANC en la CAM, 2018-2023.	49
Figura 12. Diagrama de flujo de las causas de no donación de riñón.	50
Figura 13. Diagrama de flujo de las causas de no donación de hígado.	50
Figura 14. Diagrama de flujo de las causas de no donación de pulmón.	51
Figura 15. Curva del área bajo la curva de la capnometría, isquemia caliente y modelo multivariante.	60

Figura 16. Curva del área bajo la curva de la capnometría en la transferencia y del modelo multivariante.....	60
Figura 17. Matriz de concordancia con aplicación del Índice VDR.....	60
Figura 18. Representación gráfica de la mediana de los valores de creatinina sérica (mg/dl) a lo largo de un año tras el trasplante renal.	62
Figura 19. Representación gráfica de la mediana de los valores de proteinuria (mg/dl) a lo largo de un año tras el trasplante renal.....	63
Figura 20. Representación gráfica de la relación de los valores de capnometría en la transferencia con los valores de creatinina (mg/dl) durante un año...	69
Figura 21. Representación gráfica de la relación de los valores de capnometría en la transferencia con los valores de proteinuria (mg/dl) durante un año.	70
Figura 22. Representación gráfica de la relación entre el número de diálisis postrasplante y los valores de capnometría al inicio, a la mitad y en la transferencia hospitalaria, y la tendencia de la capnometría.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de Maastricht modificada (Madrid, 2011).....	20
Tabla 2. Listado de variables de los donantes en asistolia no controlada.....	39
Tabla 3. Listado de variables de los receptores.	43
Tabla 4. Descripción general de los donantes y factores de riesgo.	52
Tabla 5. Características de las variables relacionadas con el transporte extrahospitalario.	53
Tabla 6. Características de las variables relacionadas con el SVB extrahospitalaria	54
Tabla 7. Características de las variables relacionadas con la PCR extrahospitalaria	55
Tabla 8. Tiempos durante el proceso de donación.....	56
Tabla 9. Valores de capnometría durante el procedimiento de DANC.	57
Tabla 10. Valores de capnometría en los riñones válidos y los riñones con mala perfusión.	57
Tabla 11. Análisis multivariante de los factores predictores extrahospitalarios de validez del donante en asistolia no controlada.	58
Tabla 12. Coeficientes del Índice de Validez de las variables predictoras extrahospitalarias de la validez del donante.....	59
Tabla 13. Poder predictor de la capnometría, tiempo de isquemia caliente y modelo multivariante.....	59
Tabla 14. Características generales de los receptores.	62
Tabla 15. Factores relacionados con la evolución de la función renal.	64
Tabla 16. Supervivencia del injerto y del paciente al año.	64
Tabla 17. Relación del fallo renal con los valores de capnometría del donante.	65

Tabla 18. Relación del retraso de la función renal con los valores de capnometría del donante.....	66
Tabla 19. Relación entre los días hasta la recuperación de la función renal (quedar libres de diálisis) y los valores de capnometría del donante y tiempo de isquemia caliente.	66
Tabla 20. Relación de las complicaciones urológicas del receptor, con los valores de capnometría del donante y el tiempo de isquemia caliente.	66
Tabla 21. Relación de las complicaciones infecciosas del receptor, con los valores de capnometría del donante y el tiempo de isquemia caliente.	67
Tabla 22. Relación de la supervivencia del injerto con los valores de capnometría del donante y el tiempo de isquemia caliente.....	67
Tabla 23. Relación supervivencia del paciente al año con valores de capnometría del donante y el tiempo de isquemia caliente.....	68

GLOSARIO

- **ADVP**= Adicto a Drogas por Vía Parenteral.
- **AHA**= American Heart Association.
- **CMV**= Citomegalovirus.
- **CO2**= Dióxido de carbono.
- **DA**= Donación en Asistolia.
- **DAC**= Donación en Asistolia Controlada.
- **DANC**= Donación en Asistolia No Controlada.
- **DME**= Donación en Muerte Encefálica.
- **ERC**= European Resuscitation Council.
- **EtCO2**= Concentración máxima de dióxido de carbono espirado durante un ciclo respiratorio.
- **FiO2**= Fracción inspirada de oxígeno.
- **HCIS**= Health Care Information System.
- **HITC**= Hipertensión Intracraneal.
- **INSALUD**= Instituto Nacional de la Salud.
- **Kg**= Kilogramo.
- **Kg/m2**= Kilogramo/metro cuadrado.
- **Km/h**= Kilometro/hora.
- **M**= Metro.
- **Mg**= Miligramo.
- **Mg/dl**= Miligramo/decilitro.
- **Mm/h**= Kilómetros/hora.
- **ml/h**= Mililitro/hora.
- **MmHg**= Milímetros de mercurio.
- **NFP**= No función primaria.
- **OMS**= Organización Mundial de la Salud.
- **ONT**= Organización Nacional de Trasplantes.
- **PCO2**= Presión parcial de dióxido de carbono.
- **PCR**= Parada Cardiorrespiratoria.
- **PMP**= Por millón de población.
- **RD**= Real Decreto.
- **RCP**= Reanimación cardiopulmonar.
- **ROSC**= Return of Spontaneous circulation.
- **SEM**= Servicio de Emergencias Médicas.
- **SERCAM**= Servicio de Emergencia y Rescate de la Comunidad de Madrid.
- **SESCAM**= Servicio de Salud de Castilla la Mancha.
- **SNS**= Sistema Nacional de Salud.
- **SUEH**= Servicio de Urgencias Extrahospitalaria
- **SUH**= Servicio de Urgencias Hospitalaria
- **SUMMA 112**= Servicio de Urgencias Médicas.
- **SVA**= Soporte Vital Avanzado.
- **TES**= Técnico en Emergencias Sanitarias.
- **UVI**= Unidad de Vigilancia Intensiva.
- **VDR**= Validación Donante Renal.

ANEXO

ANEXO I. PUBLICACIONES RELACIONADAS CON ESTE PROYECTO

RESUSCITATION 189 (2023) 109863



Available online at ScienceDirect

Resuscitation

journal homepage: www.elsevier.com/locate/resuscitation

Rapid response systems

Influence of donor capnometry on renal graft evolution in uncontrolled donation after circulatory death



Carlos Rubio-Chacón^{a,*}, Alonso Mateos-Rodríguez^{a,b,c}, Fernando Neria-Serrano^c, Francisco Del Rio-Gallegos^b, Amado Andrés-Belmonte^d

Abstract

Aim: To analyse the association between donor capnometry data and the short-term evolution of kidney grafts in cases of uncontrolled donation after circulatory death (uDCD).

Method: We used an ambispective observational study design, conducted in the Community of Madrid between January and December 2019, inclusive. Patients who suffered out-of-hospital cardiac arrest (CA) with no response to advanced cardiopulmonary resuscitation (CPR) were selected as potential donors. Donor capnometry levels were measured at the start, midpoint and transfer to hospital then compared with indicators of renal graft evolution.

Results: The initial selection included 34 possible donors, of which 12 (35.2%) were viable donors from whom 22 (32.3%) kidneys were recovered. There was a correlation between the highest capnometry values and less need for post-transplant dialysis (≥ 24 mmHg, $p < 0.017$), fewer dialysis sessions and fewer days to recover correct renal function (Rho -0.47 , $p < 0.044$). There was a significant inverse correlation between the capnometry values at transfer and 1-month post-transplant creatinine levels (Rho -0.62 , $p < 0.033$). There were no significant differences between the capnometry values at transfer and primary nonfunction (PNF) or warm ischaemia time. One-year patient survival was 100% for patient receiving organ donation, while graft survival was 95%.

Conclusions: Capnometry levels at transfer are a useful predictor of the short-term function and viability of kidney transplants from uncontrolled donations after circulatory death.

Keywords: Capnometry, Kidney transplant, Asystole, Resuscitation, Emergency medical services

Introduction

A kidney transplant is the best replacement therapy for patients with end-stage kidney disease.¹ However, the lack of donors limits the treatment's application. In addition, the disparity between the number of patients with chronic kidney disease (CKD) awaiting a kidney transplant and the number of potential donors has increased in recent years following a reduction in the mortality of traumatic head injuries caused by work-related or road traffic accidents.^{2,3}

Given this context, uncontrolled donation after circulatory death (uDCD), defined as patients who have died following an unexpected and witnessed cardiac arrest (CA),⁴ and unsuccessful cardiopul-

monary resuscitation (CPR). It is particularly important because it is still a significant source of organs, despite the negative impact of the COVID-19 pandemic which paralysed donation procedures in emergency departments.⁵

uDCD protocols are complex programmes and there are currently only a few operating worldwide, mainly in European countries.⁶ They start with out-of-hospital treatment, in the street or at the patient's home, and require urgent transfer to hospital via a ground or air ambulance while receiving continuous cardiopulmonary resuscitation.⁷ European experts support and encourage the development and optimisation of uDCD programmes, provided that potential donors are identified correctly⁸ and they receive high-quality CPR.^{9,10}

* Corresponding author at: Community of Madrid Emergency Medical Service (SUMMA 112), Calle Antracita 2 bis, 28405 Madrid, Spain.

E-mail address: carruch@msn.com (C. Rubio-Chacón).

<https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2023.109863>

Received 18 April 2023; Received in Revised form 26 May 2023; Accepted 30 May 2023

0300-9572/© 2023 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Based on these criteria, the survival of renal grafts from uDCD donors is no worse than that of kidneys recovered from donation after brain death donors¹¹ or controlled donation after circulatory death (cDCD) donors.¹² However, organs recovered from uDCD donors endure a lot of ischaemic stress that can compromise their viability. In fact, the percentage of organs rejected for transplant after they have been recovered is significantly higher than for other types of donors. There is also a longer delay until uDCD renal grafts start to function because of severe tubular necrosis, produced by the ischaemic stress during the donation process.¹⁰

Capnometry is a noninvasive method that measures the partial pressure of expired CO₂, in mmHg, which provides useful information about cell metabolism.¹³ It can be used to look at the level of tissue perfusion during the uDCD organ preservation process and throughout the course of the CPR received while being transferred to hospital. Capnometry levels during CPR may be a predictor of renal graft evolution in the donation process.¹⁴

The new European Resuscitation Council CPR Guidelines indicate the importance of using state-of-the-art devices, e.g., capnography monitors, to measure the quality of the CPR and assess the likelihood of the return of spontaneous circulation (ROSC) if there is a significant increase in ETCO₂ values, given that it is an early sign and prognostic indicator of ROSC.¹⁵ Recent studies have underlined the importance of monitoring trends in capnometry levels to detect the possibility of a ROSC and shown that it is a vital tool when evaluating perfusion¹⁶ and selecting organs.^{17,18}

Accordingly, we hypothesize that recipients of kidney grafts from uDCD procedures with higher capnometry levels obtain better post-transplant results in terms of renal graft evolution. The aim of this study is to analyse the association between donor capnometry data and the short-term evolution of uDCD kidney grafts.

Method

This study followed an ambispective observational design to look at the association between uDCD donor capnometry levels and the evolution of renal grafts in the first 12 months post-transplant. The data were recollected retrospectively and the recipients were tracked over time.

The study was conducted in the Community of Madrid between January and December 2019, inclusive, at the 12 de Octubre

University Hospital, San Carlos University Hospital and the Community of Madrid Out-of-Hospital Emergency Service (SUMMA 112), Fig. 1.

Donors were selected in accordance with the protocols established by the Community of Madrid Regional Transplant Office.

Patients who suffered an out-of-hospital CA with no response to advanced CPR, and who met all the inclusion criteria and none of the exclusion criteria, were selected as potential uDCD donors.

Inclusion criteria: patients aged 16–60 years who suffered a witnessed CA, with an asystolic pattern (regardless of the initial rhythm of the CA), received advanced life support (ALS) within 15 minutes, CPR for at least 20 minutes, and arrived at the hospital within 120 minutes.

Exclusion criteria: exsanguination due to thoracic and/or abdominal lesions, suspected malignancy, infection or intravenous drug use, and chest circumference consistent with the use of a chest compression device.

The following data were collected with respect to donors: age, sex, body mass index, medical history, suspected cause of death reported by the emergency medical service, time of CA, arrival of ALS, ALS arrival at the hospital, time of death, cold and warm ischaemia times for each organ, use of cardiocompressor and capnometry levels. Capnometry values were measured using a Microstream™ Advance FilterLine Set, adult/paediatric, 6.5 ft capnography sampling line placed between the humidifying filter and endotracheal tube (ETT), providing reliable detection and quantification of the intubated patient's expired CO₂. The data were automatically recorded and stored in a LIFEPAK 15 defibrillator/monitor (Physio-Control, Redmond, USA). The data were transferred from the defibrillator/monitor to an ALTECH 1 tablet via a wireless WAN antenna.

Capnometry values were recorded at three time points: Start capnometry was the first value recorded by the emergency medical team after initiating treatment for the CA, once the patient was intubated. Midpoint capnometry was the level recorded at the time halfway between the start value and the measurement taken when the patient was transferred to hospital. Transfer capnometry was the last value measured in the patient's record before being transferred to the hospital bed.

The donor's and recipient's data were gathered from their electronic medical records which were accessed via the Horus system, a software platform for sharing the clinical data of patients of the

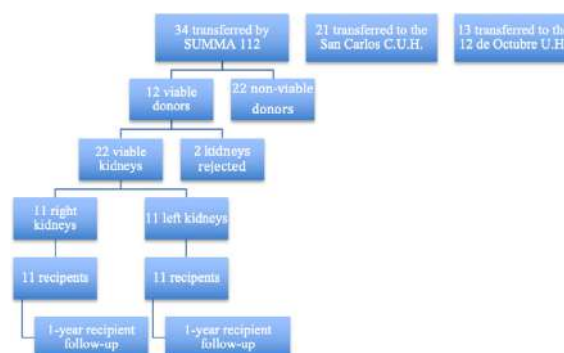


Fig. 1 – Study process flow diagram. uDCD: Uncontrolled donation after circulatory death CAM: Community of Madrid.

Madrid Health Service. Any information that could not be collated from Horus was obtained from records held by the hospitals' Transplant Coordination Offices.

Recipients were patients on haemodialysis and selected from each hospital's kidney transplant waiting list. The following data were collected for recipients: organ transplanted, cause of chronic kidney disease (CKD), dialysis start date, number and types of incompatibilities, kidney failure, acute rejection, number of post-transplant dialysis sessions, primary nonfunction, delayed graft function, urological complications, related infections, creatinine and proteinuria levels at 1, 7, 15, 30, 90, 180 and 360 days post-transplant, 1-year graft and patient survival rates, and death.

The quantitative variables were expressed as the median [interquartile range] and the qualitative variables as absolute (n) and relative frequencies (%). The association between donor capnometry levels (start, midpoint, transfer) and the creatinine and proteinuria values on the various sampling days was examined using Spearman's correlation coefficient. The relationship between the qualitative variables and the capnometry levels was assessed with the Wilcoxon test. We also compared the difference between the start and transfer capnometry values in terms of renal graft evolution, based on the aforementioned concept that a sudden increase in ETCO_2 is predictive of a return of spontaneous circulation.¹⁴ Statistical significance for the results was set at a p -value ≤ 0.05 .

The statistical analysis was run using R software, v 4.1.

The study was approved by the Francisco de Vitoria University Research Ethics Committee, number 33/2018, and followed the Declaration of Helsinki guidelines.

Results

Donors

Throughout 2019, data were collected from 34 potential donors comprising 28 men (82.4%) and 6 women (17.6%) with a median age of 48.0 years [44.2–54.2], a median weight of 80.0 kg [75.0–85.0] and a median height of 175 cm [170–178]. Based on their medical histories, 10 donors (29.4%) had hypertension, 1 (2.9%) had diabetes, 13 (38.2%) were smokers and 8 (23.5%) had hypercholesterolaemia (Table 1).

The main cause of death was arrhythmia (14, 41.2%), followed by ischaemic cardiomyopathy (11, 32.4%), unknown causes (4, 11.8%), pulmonary thromboembolism (3, 8.8%) and multiple trauma (2, 5.9%).

Twenty-one donors (61.8%) were transferred to the San Carlos University Hospital and 13 (38.2%) to the 12 de Octubre University Hospital – two (5.8%) of the latter group were transferred in an air ambulance. The emergency medical team used a mechanical chest compression device while transferring 26 donors (76.5%) to hospital and manual compressions for the other 8 donors (23.5%). At the hospital, all donors received continuous mechanical compression with a LUCAS 2 (31, 91.1%) or LUCAS 3 (3, 9.9%) device.

Of the 34 potential donors, only 12 were viable, from whom 22 kidneys (64.7%) were recovered and ultimately transplanted. Two viable livers and two lungs were also recovered. The reasons for rejecting organ donation were poor perfusion (12, 54.5%), dissecting aneurysm (2, 9.1%), vascular malformation (2, 9.1%), infectious process (2, 9.1%), renal thrombosis (1, 4.5%), ischaemia time (1, 4.5%), atheroma (1, 4.5%) and macroscopic appearance (1, 4.5%). The viability of graft evolution was performed by macroscopic assessment

by the surgeon and by pre-transplant biopsy, using capnometry values as a tool to facilitate decision but not to rule out renal grafts. The median warm ischaemia time (WIT), that is, the time between the CA and the start of organ preservation procedures, for all donors was 134 minutes [120–148], while the median WIT for the subgroup of viable donors was 126 minutes [119–148].

Recipients

The recipients had a median age of 51.5 years [43.0–57.8]. Fifteen kidneys (68.2%) were transplanted at the San Carlos University Hospital and 7 (31.8%) at the 12 de Octubre University Hospital. There were two recipients with incomplete data.

Primary nonfunction (PNF), defined as the renal graft's failure to function post-transplant, only occurred in 1 patient (5%).

Delayed graft function, defined as the need for dialysis in the first week post-transplant, was observed in 11 recipients (55%), and the median time required to recover dialysis-free renal function was 11 days [5–18].

One-year patient survival was 100% (22/22) and the graft survival rate was 95% (21/22).

The median creatinine level was 3.43 mg/dL [2.21–5.58] at 1 month post-transplant and 1.76 mg/dL [1.48–2.98] at 6 months. The median proteinuria value was 0.14 mg/dL at both 6 months [0.09–0.19] and 12 months [0.09–0.20].

As for complications, 12 recipients (45%) experienced urological complications and 14 (63.3%) developed infections.

Donor capnometry

To assess the association between the donor capnometry values and renal graft evolution, we collated the capnometry measurements taken while the emergency medical team treated the patient. At the start of the CA, the potential donors had a median capnometry level of 17.0 mmHg [12.0–31.5], at the midpoint it was 25.5 mmHg [17.8–34.2] and for the transfer to hospital it was 22.0 mmHg [15.5–27.5]. Considering the subgroup of viable donors whose organs were transplanted, the median start capnometry was 19.0 mmHg [12.0–35.0], the midpoint value was 22.0 mmHg [17.0–35.0] and at transfer it was 22.0 mmHg [17.0–26.0] (Table 2).

We observed a significant difference between the start capnometry values of potential donors who required manual CPR 32.0 mmHg [24.0–40.0] and mechanical CPR 18.2 mmHg [11.8–23.5] (p -value: 0.049). However, midpoint capnometry values did not differ between manual CPR 34.0 mmHg [24.5–43.5] and mechanical CPR 23.0 mmHg [18.0–32.0] (p -value: 0.232) and there were no significant differences between transfer capnometry values of manual CPR 21.0 mmHg [18.0–32.0] and mechanical CPR 22.0 mmHg [14.0–26.8] (p -value: 0.698). We did not observe significant differences between mechanical CPR and good organ perfusion (p -value: 0.121).

The median cold ischaemia time for the viable donor subgroup, the time between clamping each kidney for removal to when it achieved reperfusion in the recipient, was 16.3 hours [13.0–18.3].

Renal graft evolution

We defined the short-term evolution of the renal grafts according to the following variables: primary nonfunction, delayed graft function, need for post-transplant dialysis, number of post-transplant dialysis sessions, recovery of renal function based on 1-month, 3-month, 6-month and 1-year serum creatinine values, urological complications and related infections.

Table 1 – General donor data, 34 total patients.

	Total
Hospital	
San Carlos Hospital	21 (61.8%)
12 de Octubre Hospital	13 (38.2%)
Age	
Mean ± SD	46.9 ± 10.0
Median [25–75%]	48.0 [44.2–54.2]
Sex	
Male	28 (82.4%)
Female	6 (17.6%)
Weight	
Mean ± SD	82.0 ± 9.5
Median [25–75%]	80.0 [75.0–85.0]
Height	
Mean ± SD	173.8 ± 8.5
Median [25–75%]	175.0 [170.0–178.0]
Blood group	
A	15 (44.1%)
O	13 (38.2%)
B	4 (11.8%)
AB	2 (5.9%)
HTN	10 (29.4%)
Diabetes	1 (2.9%)
Smoker	13 (38.2%)
Cholesterol	8 (23.5%)

Mean ± SD; Median [IQR]; n (%).

The incidence of primary nonfunction (PNF) was 5%. There were no significant differences between the transfer capnometry levels of patient with PNF and those whose grafts evolved favourably (p -value: 0.64). The donor of this renal graft presented a transfer capnometry of 20 mmHg, WIT of 125 minutes and cold ischaemia

of 870 minutes. The main complication of the recipient was a renal infarction, which was the reason for PNF.

We observed a significant difference between the transfer capnometry values of patients who required, 17.0 mmHg [15.0–22.0], and did not require post-transplant dialysis, 24.0 mmHg [22.0–29.0] (p -value: 0.017). The difference between the transfer and start capnometry levels (DTSC), which examines the trend in capnometry during the CA, was also statistically significant when comparing the same groups (p -value: 0.046). The WIT did not differ between the recipients who required, 125.0 minutes [116.0–146.0], and did not require dialysis, 142.0 minutes [120.0–151.0] (p -value: 0.32) (Table 3).

There was also a moderate, but significant, negative correlation between the number of dialysis sessions and the transfer capnometry levels, with a Rho value of -0.47 . We did not find any significant correlations between any of the other variables studied.

After recovering renal function, there was a significant, inverse correlation between transfer capnometry and DTSC levels and the 15 day and 1 month serum creatinine values. The Rho values for these correlations were 0.57 and -0.62 for the transfer and -0.65 and -0.37 for the DTSC, for 15-day and 1-month creatinine respectively (Table 4).

Discussion

In clinical practice, capnometry is used to assess the return of spontaneous circulation after a CA¹⁵ and it is expected to predict organ perfusion. Therefore, ETCO₂ higher during CPR is correlated with better survival and neurological outcome in out of hospital CA.^{16,19} In the context of uDCD, this study shows that capnometry is also a useful predictor of the short-term evolution of kidney grafts recovered from uDCD donors.

Table 2 – Comparison of capnometry values of viable and non-viable donors.

	Viable donor			p -value
	Overall, $N = 34$	No, $N = 22$	Yes, $N = 12$	
Start capnometry				
N	27	16	11	0.693
Mean ± SD	21.3 ± 12.0	20.4 ± 11.7	22.6 ± 12.9	
Median [25–75%]	17.0 [12.0–31.5]	17.0 [12.5–31.0]	19.0 [12.0–35.0]	
Midpoint capnometry				
N	28	17	11	0.572
Mean ± SD	27.4 ± 12.2	28.6 ± 13.4	25.5 ± 10.5	
Median [25–75%]	25.5 [17.8–34.2]	29.0 [20.0–34.0]	22.0 [17.5–33.5]	
Transfer capnometry				
N	27	16	11	0.711
Mean ± SD	23.0 ± 11.7	23.7 ± 14.3	21.9 ± 6.8	
Median [25–75%]	22.0 [15.5–27.5]	24.0 [10.8–31.0]	22.0 [18.5–24.0]	
Difference between transfer and start capnometry				
N	27	16	11	0.489
Mean ± SD	1.6 ± 15.1	3.2 ± 15.6	$-0.7 ± 14.6$	
Median [25–75%]	5.0 [–4.5 to 13.5]	5.5 [–3.2 to 14.2]	3.0 [–11.0 to 11.0]	
Warm ischaemia time (min)				
N	34	22	12	0.626
Mean ± SD	134.3 ± 20.6	135.8 ± 22.5	131.4 ± 17.2	
Median [25–75%]	134.0 [120.0–148.0]	135.0 [120.8–148.0]	125.5 [118.2–144.0]	

Mean ± SD; Median [IQR].
Wilcoxon rank sum test.

Recipients who experienced delayed graft function tended to receive their kidneys from donors with significantly lower transfer capnometry and DTSC values than those recipients who achieved immediate renal function. Similarly, recipients with delayed graft function presented a statistically significant association between higher transfer capnometry and DTSC levels and fewer post-transplant dialysis sessions and fewer days to recover correct renal function. There was a positive correlation between the transfer capnometry and DTSC values and the 1-month serum creatinine levels, whereby the kidney donors with the highest capnometry values corresponded to the lowest post-transplant creatinine levels.

Our data therefore suggest that capnometry levels at transfer and the trend in the DTSC are useful predictors of the short-term function of kidney transplants from uDCD donors. However, start and mid-term capnometry values were not useful predictor for the short-term function of the renal grafts.

This study indicates that kidneys transplanted from donors with lower transfer capnometry and DTSC levels suffered more ischaemic damage, which translated into a greater delay in graft function, requiring more dialysis sessions and more days to recover dialysis-free renal function, and poorer function at 1-month post-transplant based on higher serum creatinine values.

Delayed graft function and short-term graft evolution have been assessed in terms of a range of different variables, including donor age, haemodynamic stability, donor type (living, brain death or cardiac death donation), warm ischaemia time, cold ischaemia time, recipient's immunisation status, vascular anastomosis time, and so on.

To the best of our knowledge, this is the first study to correlate delayed graft function with capnometry levels for kidneys transplanted from uDCD donors. Our findings also suggest that donors who received better cardiac massage, resulting in better tissue per-

fusion and higher capnometry levels, suffered less ischaemic stress and presented better recovery of graft function, which is consistent with previous studies.⁴

We did not observe any relationship between warm ischaemia time and delayed graft function, the need for post-transplant dialysis or serum creatinine levels. This agrees with previous studies which found that WIT neither affects the total number of viable donors nor the outcome of kidney transplants, provided that it is within certain limits established by guidelines.²⁰

The differences in capnometry values did not bare any influence on the 1-year creatinine and proteinuria levels, which suggests that donors with lower capnometry levels suffered more ischaemic damage. Furthermore, considering the range of capnometry values of all the donors whose kidneys were ultimately transplanted, the incidence of PNF was very low. In this context, establishing a range of capnometry levels that are indicative of irreversible ischaemic damage to a donor's organs would be a useful tool in helping exclude them from donation.

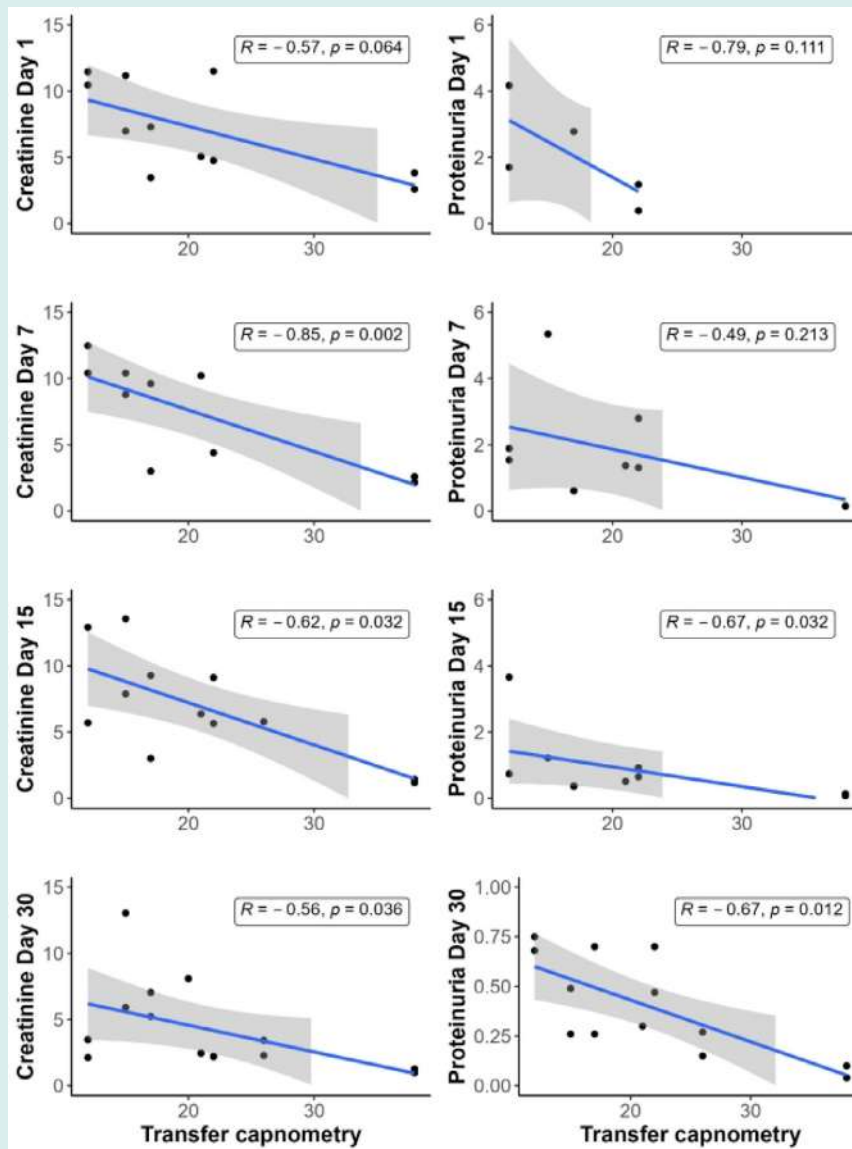
Our data show that uDCD program can be performed with relative safety if midpoint and transfer capnometry levels are above 18 and 19 mmHg, respectively. Notwithstanding, some authors advocate transfer capnometry values of between 23 and 30 mmHg.¹⁷ In a preliminary study, we observed a potential relationship between capnometry values and organ viability, although we could not reach any significant conclusions due to the limited sample size.¹⁸ Further studies are required to determine the lower limit of capnometry levels that can be used to rule out uDCD donors suspected of having irreversible ischaemic damage.

This work is of practical value in various applications for out-of-hospital emergency medical services and transplant coordination offices. Midpoint and transfer capnometry data can help guide donor selection in situations that require the emergency services team to

Table 3 – Relationship between capnometry levels and the need for post-transplant dialysis.

	Need for post-transplant dialysis			p-value
	Overall, N = 20	No dialysis required, N = 9	Dialysis required, N = 11	
Start capnometry				0.478
N	19	8	11	
Mean ± SD	22.9 ± 12.3	19.8 ± 8.7	25.2 ± 14.4	
Median [25–75%]	19.0 [12.0–35.0]	19.0 [15.0–25.0]	35.0 [12.0–37.5]	
Midpoint capnometry				0.261
N	19	8	11	
Mean ± SD	25.7 ± 10.7	22.2 ± 8.5	28.3 ± 11.8	
Median [25–75%]	22.0 [17.5–35.0]	20.0 [16.2–26.0]	23.0 [20.0–38.0]	
Transfer capnometry				0.017
N	19	8	11	
Mean ± SD	22.1 ± 7.2	26.9 ± 7.1	18.5 ± 5.0	
Median [25–75%]	22.0 [17.0–26.0]	24.0 [22.0–29.0]	17.0 [15.0–22.0]	
Difference between transfer and start capnometry				0.046
N	19	8	11	
Mean ± SD	−0.8 ± 14.2	7.1 ± 8.1	−6.6 ± 15.1	
Median [25–75%]	3.0 [−11.0 to 11.0]	9.5 [3.0–13.2]	−9.0 [−16.5 to 6.0]	
Warm ischaemia time (min)				0.32
N	20	9	11	
Mean ± SD	133.3 ± 17.8	136.6 ± 16.7	130.7 ± 19.0	
Median [25–75%]	134.0 [118.2–150.0]	142.0 [120.0–151.0]	125.0 [116.0–146.0]	

Mean ± SD; Median [IQR].
Wilcoxon rank sum test.

Table 4 – Correlation between capnometry values and creatinine and proteinuria levels.

make a complicated decision quickly. Our findings also suggest there is more flexibility when accepting donors, because they support lower (18 mmHg) midpoint capnometry values than usual, thus increasing the number of potential donors.

Nevertheless, the study was not without certain limitations. The main constraint was the small sample size, which was due to the inclusion and exclusion criteria for potential donors. While treating

some cases of CA, the healthcare professionals did not record the capnometry levels or some data for other variables, complicating the subsequent statistical analysis.

In conclusion, capnometry levels are a useful predictor of the short-term evolution of kidney transplants from uDCD donors and can help determine organ viability by ruling out uDCD kidneys with irreversible tissue damage.

CRediT authorship contribution statement

Carlos Rubio-Chacón: Writing – review & editing, Writing – original draft, Investigation, Formal analysis, Data curation. **Alonso Mateos-Rodríguez:** Writing – original draft, Visualization, Supervision, Methodology, Investigation, Formal analysis. **Fernando Neria-Serrano:** Visualization, Software, Methodology, Data curation. **Francisco Del Rio-Gallegos:** Validation, Supervision, Investigation. **Amado Andrés-Belmonte:** Writing – original draft, Supervision, Investigation, Conceptualization.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Author details

^aCommunity of Madrid Emergency Medical Service, SUMMA 112, Madrid, Spain ^bCommunity of Madrid Regional Transplant Office, Madrid, Spain ^cFaculty of Medicine, Universidad Francisco de Vitoria, Madrid, Spain ^dDepartment of Nephrology, 12 de Octubre University Hospital, Madrid, Spain

REFERENCES

1. Wolfe RA, Ashby VB, Milford EL, et al. Comparison of mortality in all patients on dialysis, patients on dialysis awaiting transplantation, and recipients of a first cadaveric transplant. *N Engl J Med* 1999;341:1725–30.
2. Navalpotro-Pascual JM, Echarri-Sucunza A, Mateos-Rodríguez A, et al. Uncontrolled donation programs after out-of-hospital cardiac arrest. An estimation of potential donors. *Resuscitation* 2018;122:87–91.
3. Ho AFW, Tan TXZ, Latiff E, et al. Assessing unrealised potential for organ donation after out-of-hospital cardiac arrest. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2021;29:105.
4. Del Río F, Andrés A, Padilla M, et al. Kidney transplantation from donors after uncontrolled circulatory death: the Spanish experience. *Kidney Int* 2019;95:420–8.
5. Lazzeri C, Bonizzoli M, Peris A. Uncontrolled donation after circulatory death and SARS-CoV2 pandemia: still feasible? *Eur J Emerg Med* 2022;29:241–3.
6. Lomero M, Gardiner D, Coll E, et al. Donation after circulatory death today: an updated overview of the European landscape. *Transpl Int* 2020;33:76–88.
7. Mateos Rodríguez AA, Navalpotro Pascual JM, Ortega I, et al. Traslado en helicóptero de donantes tras muerte cardiaca. *Emergencias* 2011;23:372–4.
8. Miñambres E, Rodrigo E, Suberviola B, et al. Strict selection criteria in uncontrolled donation after circulatory death provide excellent long-term kidney graft survival. *Clin Transplant* 2020;34.
9. Domínguez-Gil B, Duranteau J, Mateos A, et al. Uncontrolled donation after circulatory death: European practices and recommendations for the development and optimization of an effective programme. *Transpl Int* 2016;29:842–59.
10. Sánchez-Fructuoso AI, Pérez-Flores I, Del Río F, et al. Uncontrolled donation after circulatory death: A cohort study of data from a long-standing deceased-donor kidney transplantation program. *Am J Transplant* 2019;19:1693–707.
11. Molina M, Guerrero-Ramos F, Fernández-Ruiz M, González E, Cabrera J, Morales E, Gutierrez E, Hernández E, Polanco N, Hernández A, Praga M, Rodríguez-Antolín A, Pamplona M, de la Rosa F, Cavero T, Chico M, Villar A, Justo I, Andrés A. Kidney transplant from uncontrolled donation after circulatory death donors maintained by nECMO has long-term outcomes comparable to standard criteria donation after brain death. *Am J Transplant* 2019 Feb;19(2):434–47.
12. Choudhury RA, Prins K, Dor Y, Moore HB, Yaffe H, Nydam TL. Uncontrolled donation after circulatory death improves access to kidney transplantation: A decision analysis. *Clin Transplant* 2020;34.
13. Paiva EF, Paxton JH, O'Neil BJ. The use of end-tidal carbon dioxide (ETCO₂) measurement to guide management of cardiac arrest: A systematic review. *Resuscitation* 2018;123:1–7.
14. Mateos Rodríguez AA, Andres Belmonte A, Egea Guerrero JJ, Elosegui Itxaso L, Sánchez Vila M, Mosteiro Pereira F, Ruiz Á, Perez Villares JM. Use of mechanical cardiocompressor in uncontrolled donation after cardiac death. *Resuscitation* 2018;126.
15. Soar J, Böttiger BW, Carli P, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation* 2021;161:115–51.
16. Wang CH, Lu TC, Tay J, et al. Association between trajectories of end-tidal carbon dioxide and return of spontaneous circulation among emergency department patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2022;177:28–37.
17. Simón NV. Estudio de las maniobras de reanimación como medida de preservación inicial en el donante no controlado a corazón parado [PhD thesis]. Complutense University of Madrid.; 2017.
18. Mateos Rodríguez A, Varillas Delgado D, Villar Arias A, Rubio Chacón C, Andrés BA. Capnometry levels as an indicator of renal graft evolution in uncontrolled non-heart beating donors. *Med Intensiva (Engl Ed)* 2020;44:233–8.
19. Baldi E, Caputo ML, Klersy C, 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;181:197–207.
20. Mateos Rodríguez AA. Factores de la atención extrahospitalaria asociados a la evolución de órganos procedentes de donación en asistolia no controlada [Phd thesis]. Francisco de Vitoria University.

Available online at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Resuscitation

journal homepage: www.elsevier.com/locate/resuscitation

Letter to the Editor

Reply to pre hospital interventions and organ donation in out of hospital cardiac arrest



Dear Editor,

First of all, we would like to thank the ICU team of the Azienda Ospedaliero-Universitaria Careggi Hospital for their contributions and comments and invite them to participate in future research regarding uncontrolled donation after circulatory death (uDCD).

The ERC 2021 recommendations emphasize the importance of measuring and interpreting not only the isolated ETCO₂ values but also the trend during the whole cardiopulmonary resuscitation (CPR).¹ In our study we recollected the capnometry values at start point, midpoint and at transfer, as well as we considered the ETCO₂ trend, in patients, who suffered an unexpected and witnessed out of hospital cardiac arrest (CA),² measured as the difference between the values at transfer and at start point. The detection of ETCO₂ values, in the patient in CRP, should be performed once the airway is isolated, by endotracheal intubation³ and this was performed in our study.

However, once the advanced CPR have been exhausted and the possibility of spontaneous circulation resuming has been ruled out and the patient is considered a potential uDCD, we believe that the purpose of ETCO₂ is to test the viability of the organs being a surrogate marker of the existence of metabolic activity in them.⁴

There are multiple variables that can influence the recovery of spontaneous circulation⁵ and the evolution of future organs for transplantation⁶ in a patient with CRP, one of which is ETCO₂.

Several factors can cause variations in ETCO₂ values at the time of CPR. In addition to being a useful tool for monitoring the quality of CPR through the depth and frequency of chest compressions, ETCO₂ can be influenced by ventilation, blood volume status and drugs.^{7,8} We are currently studying the influence of out-of-hospital CPR administration of drugs such as adrenaline and bicarbonate, together with modes of ventilation, on ETCO₂ values and the evolution of renal grafts. In addition, analytical values such as lactate levels⁹ are also being considered as possible predictors of renal graft outcome. We hope to be able to publish all these results soon.

In certain European countries, such as Spain, France or Italy, the uDCD is a highly developed program and a worldwide reference. One of the main problems of this program is the organizational complexity and the structural and legislative differences between the different countries.¹⁰

In addition, the uDCD presents other challenges compared to other programs, such as the importance of reducing warm ischemia times and the time of organ preservation.

One of the peculiarities of Spanish legislation is that the "No touch period" is only 5 minutes, within the limits established by the WHO in its guidelines, between 2 and 5 minutes.¹¹ Therefore, ischemia reperfusion damage could be reduced compared to times in other countries, improving the warm ischemia time, which is fundamental in the uDCD program.

The programs of many uDCD centers include extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) circulation before organ procurement. In most cases, isolated hypo or normothermic abdominal perfusion is performed, with a tendency to the latter in renal transplantation. In the case of ex vivo preservation, it is performed under hypothermia and the use of ECMO should be evaluated both to increase survival and to increase potential donors.^{12,13}

Author contributions

Carlos Rubio, Alonso Mateos, Francisco José Del Río and Amado Andrés were responsible for drafting respond to the letter.

Funding statement

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Ethical responsibilities

All the authors agreed to maintain the confidentiality and respect the rights of the patients in the author responsibilities document, in accordance with the publication and transfer of rights to Resuscitation.

CRedit authorship contribution statement

Carlos Rubio-Chacón: Conceptualization, Formal analysis, Investigation, Methodology, Resources, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Alonso Mateos-Rodríguez:** Investigation, Methodology, Supervision, Writing – review & editing. **Fernando Neria-Serrano:** Investigation, Methodology, Software, Supervision. **Francisco Del Rio-Gallegos:** Investigation, Resources, Supervision, Writing – review & editing. **Amado Andrés-Belmonte:** Conceptualization, Investigation, Supervision, Validation, Writing – review & editing.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

REFERENCES

- Soar J, Böttiger BW, Carli P, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation* 2021;161:115–51. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.010>. Epub 2021 Mar 24. Erratum in: *Resuscitation*. 2021 Oct;167:105–6.
- Wang CH, Lu TC, Tay J, et al. Association between trajectories of end-tidal carbon dioxide and return of spontaneous circulation among emergency department patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2022;177:28–37.
- Gutiérrez JJ, Sandoval CL, Leturiondo M, et al. Contribution of chest compressions to end-tidal carbon dioxide levels generated during out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2022;179:225–32.
- Rubio-Chacón C, Mateos-Rodríguez A, Neria-Serrano F, Del Rio-Gallegos F, Andrés-Belmonte A. Influence of donor capnometry on renal graft evolution in uncontrolled donation after circulatory death. *Resuscitation* 2023;189.
- Baldi E, Caputo ML, Klersy C, 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;181:197–207.
- Mateos Rodríguez A, Varillas Delgado D, Villar Arias A, Rubio Chacón C, Andrés Belmonte A. Capnometry levels as an indicator of renal graft evolution in uncontrolled non-heart beating donors. *Med Intensiva (Engl Ed)*. 2020;44:233–8 [English, Spanish].
- Nassar BS, Schmidt GA. Capnography for monitoring of the critically ill patient. *Clin Chest Med* 2022;43:393–400.
- Zafren K, Paal P. End-tidal CO₂ < 10 mm Hg is not a reason to terminate cardiopulmonary resuscitation in hypothermic cardiac arrest. *Resuscitation* 2022;174:91–2. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2022.03.007>.
- Peris A, Lazzeri C, Bonizzoli M, et al. A metabolic approach during normothermic regional perfusion in uncontrolled donors after circulatory death-A pilot study. *Clin Transplant* 2018;32:e13387.
- Morrison LJ, Sandroni C, Grunau B, Parr M, Macneil F, Perkins GD, Aibiki M, Censullo E, Lin S, Neumar RW, Brooks SC. International Liaison Committee on Resuscitation. Organ Donation After Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Scientific Statement From the International Liaison Committee on Resuscitation. *Resuscitation* 2023;190(Sep) 109864.
- Shemie SD, Hornby L, Baker A, et al. The International Guidelines for Determination of Death phase 1 participants, in collaboration with the World Health Organization. International guideline development for the determination of death. *Intensive Care Med* 2014;40:788–97.
- Lazzeri C, Bonizzoli M, Franci A, et al. Out of hospital cardiac arrest and uncontrolled donation after circulatory death in a tertiary cardiac arrest center. *Eur J Emerg Med* 2020;27:279–83.
- Roncon-Albuquerque Jr R, Gaião S, Figueiredo P, et al. An integrated program of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) assisted cardiopulmonary resuscitation and uncontrolled donation after circulatory determination of death in refractory cardiac arrest. *Resuscitation* 2018;133:88–94.

Carlos Rubio-Chacón*

Community of Madrid Emergency Medical Service, SUMMA 112, Spain

Alonso Mateos-Rodríguez

Faculty of Medicine, Francisco de Vitoria University, Spain

Fernando Neria-Serrano

Faculty of Medicine, Francisco de Vitoria University, Spain

Francisco Del Rio-Gallegos

Community of Madrid Regional Transplant Office, Spain

Amado Andrés-Belmonte

Department of Nephrology, 12 de Octubre University Hospital, Spain

* Corresponding author at: Community of Madrid Emergency Medical Service (SUMMA 112), Calle Antracita 2 bis, 28405 Madrid, Spain.

Received 19 October 2023

Accepted 21 October 2023

<https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2023.110030>

© 2023 Elsevier B.V. All rights reserved.

