



CASO CLÍNICO

Decúbito prono en paciente portador de dispositivo de extracción extracorpórea de CO₂ Novalung®

M.J. Frade Mera*, L. Vergara Díez, N. Fernández Gaute y D. Montes Gil

Servicio de Medicina Intensiva, Polivalente del Hospital Universitario 12 de Octubre, Madrid, España

PALABRAS CLAVE

Decúbito prono;
Cuidados críticos;
Hipercapnia y
membrana
extracorpórea de
oxigenación

Resumen

Objetivo: Describir la evolución de una paciente portadora del dispositivo. Conocer el efecto del Novalung® sobre la ventilación teniendo en cuenta la posición del paciente y la influencia de esta última sobre el flujo de sangre del dispositivo. Elaborar un protocolo de manejo y cuidados del paciente con Novalung®.

Material y métodos: Caso clínico de un paciente ingresado en UCI polivalente de hospital terciario. Descripción de parámetros: hemodinámicos y respiratorios, farmacológicos, analíticos, nutricionales, de neuromonitorización, de manejo del Novalung® y duración ciclos decúbito prono. Test Anova, t de Student, Wilcoxon-Mann Witney y correlación de Spearman para conocer comportamiento de variables estudiadas. Significación $p < 0,05$.

Resultados: Mujer de 46 años con neumonía nosocomial e insuficiencia respiratoria aguda grave. Indicación del Novalung®: disminuir hipercapnia y optimizar manejo ventilatorio ante hipoxemia refractaria. Estancia UCI 26 días, TAM 82 ± 9 mmHg y FC 110 ± 6 lpm durante ingreso, monitorización PICCO 5 días con IC $3,2 \pm 0,8$ l/min/m², ELWI 33 ± 4 ml, hemofiltración continua 13,2 días mediana extracción 50 cc/h, noradrenalina $0,68 \pm 0,79$ µg/kg/min 15 días. Parámetros respiratorios durante ingreso PO₂ 59 ± 13 mmHg, PCO₂ 68 ± 35 mmHg, SatO₂ $85 \pm 12\%$, PO₂/FIO₂ 69 ± 35 , volumen corriente 389 ± 141 cc. Novalung® 13 días, heparina $181,42 \pm 145$ mUI/kg/min, tiempo de cefalina $57,56 \pm 16,41$ sg, flujo O₂ 7 ± 3 l/min, flujo sangre mediana 1.030 cc/h rango intercuartílico 1.447 - 612 cc/h. Ciclos de prono 4, duración 53 ± 27 h. Con Novalung® disminuyó PCO₂ independientemente de posición $66 \pm 21:56 \pm 9$; $p = 0,005$. Volumen corriente $512 \pm 67:267 \pm 72$; $p = 0,0001$. Flujo sangre según posición supino-prono $1.053 \pm 82:113 \pm 112$; $p = 0,001$. No se observó asociación entre flujo sangre y PCO₂ ($p = 0,2$) y entre flujo O₂ y PO₂ ($p = 0,05$). Cuidados específicos: monitorizar pulsos pedios y tibiales, mantener integro circuito, prevenir y detectar signos de hemorragia, cuidados del catéter arterial y venoso femoral, vigilar coagulación.

Comentarios: Durante el uso del Novalung® se consiguió ventilación protectora con volúmenes corrientes bajos, descenso de presión meseta, PEEP e hipercapnia. El flujo de sangre descendió en decúbito prono, pero la PCO₂ no se incrementó. El dispositivo no se coaguló.

© 2011 Elsevier España, S.L. y SEEIUC. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: mariajesusfrade@yahoo.es (M.J. Frade Mera).

KEYWORDS

Prone position;
Critical care;
Hypercapnia and
extracorporeal
membrane
Oxygenation

Decubitus prone position in patient with extracorporeal CO₂ removal device novalung®

Abstract

Objective: To describe the course of a patient with the extracorporeal CO₂ removal device and discover the effect of Novalung on ventilation, considering the patient's prone position and its influence on the device's blood flow. To develop a protocol of managing and specific care of a patient with Novalung.

Material and methods: A case report of a patient with Novalung in a tertiary hospital ICU unit is reported. Parameters considered are hemodynamic, respiratory, pharmacological, analytical, neuromonitoring, managing of the Novalung and length of decubitus prone cycles. Anova Test, Student's T test, Wilcoxon-Mann Whitney and Spearman correlation. Significance $p < 0.05$.

Results: A 46-year old women with nosocomial pneumonia and acute respiratory failure with indication of Novalung to decrease hypercapnia and optimize ventilatory management of refractory hypoxemia. ICU Stay 26days, MBP 82 ± 9 mmHg, HR 110 ± 6 lpm during the admission, monitoring PICCO 5 days CI 3.2 ± 0.8 l/min/m², ELWI 33 ± 4 ml, continuous hemofiltration 13.2days with a median removal 50 cc/h. Norepinephrine dose 0.68 ± 0.79 μ /kg/min for 15days. Respiratory parameters during the admission: PO₂ 59 ± 13 mmHg, PCO₂ 68 ± 35 mmHg, SatO₂ $85 \pm 12\%$, PO₂/FIO₂ 69 ± 35 , tidal volume 389 ± 141 cc. Novalung® 13days, heparin dose 181.42 ± 145 mlU/Kg/min, Cephalin time 57.56 ± 16.41 sec, O₂ flow 7 ± 3 l/min, median blood flow 1030 cc/h, interquartile range 1447-612 cc/h. Prone cycles 4, duration 53 ± 27 hours. With Novalung® PCO₂ decreased regardless of position $66 \pm 21:56 \pm 9$, $p=0.005$. Tidal volume $512 \pm 67:267 \pm 72$, $p=0.0001$. Blood flow on supine-prone position $1053 \pm 82:113 \pm 112$, $p=0.001$. There was no link between blood flow and PCO₂ ($p=0.2$) and between O₂ and PO₂ flow ($p=0.05$). Specific care: pedal and tibial pulse monitoring, keep circuit safe to prevent and detect signs of bleeding, femoral arterial and venous catheter care, coagulation monitoring.

Comments: During the use of Novalung protective, ventilation, low tidal volumes, decreased pressure plateau, PEEP and hypercapnia were achieved. Blood flow decreased in prone position, but the PCO₂ did not increase. The device did not coagulate.

© 2011 Elsevier España, S.L. and SEEIUC. All rights reserved.

Introducción

El síndrome de distrés respiratorio del adulto (SDRA) es la forma de insuficiencia respiratoria aguda más grave y tiene una mortalidad entre el 30 y el 40%¹⁻⁴. En ocasiones esta mortalidad se ve influida por las técnicas de ventilación mecánica que se aplican⁵. La utilización de volúmenes corrientes altos en los pacientes con SDRA provoca presiones excesivas con sobredistensión de las zonas pulmonares menos afectadas, lo que desencadena lesión de la membrana alveolocapilar, aumento de la permeabilidad capilar y favorece la aparición de barotrauma, volotrauma y biotrauma⁶⁻⁸. La lesión inducida por la ventilación mecánica puede prevenirse utilizando técnicas de ventilación mecánica protectora, caracterizada por el uso de volúmenes corrientes bajos 6 ml/kg, presión plato inferior a 31 cm H₂O y PEEP elevada⁹⁻¹¹, probablemente porque se reduce la lesión pulmonar por distensión y la liberación de mediadores de la inflamación^{12,13}. La ventilación mecánica tiene un papel fundamental en el manejo de los pacientes con SDRA pero además se pueden aplicar otras medidas terapéuticas como son: control de líquidos con estrecha monitorización hemodinámica¹⁴, uso de técnicas de depuración extracorpórea¹⁵, administración de vasodilatadores inhalados (óxido nítrico, prostaciclina)¹⁶ y colocar al paciente en decúbito prono¹⁷.

Para los pacientes con SDRA grave que no responden al tratamiento convencional existe la posibilidad de aplicar técnicas de asistencia respiratoria extracorpórea como último recurso¹. La primera aplicación clínica con éxito de estas técnicas fue la oxigenación extracorpórea de membrana (ECMO) en 1972 por el doctor J. Donald Hill en un paciente con SDRA^{6,18}. Durante los últimos 30 años la ECMO en sus 2 formas venoarterial y venovenosa se ha llegado a convertir en un estándar de cuidado para los neonatos con fracaso respiratorio severo y como soporte posquirúrgico tras cirugía reparadora de lesiones cardíacas congénitas¹⁹. Sin embargo, el uso del ECMO en adultos no ha tenido un claro desarrollo dado que presenta varios inconvenientes: requiere equipos sofisticados, personal entrenado, es complejo, caro, su tiempo de aplicación es limitado, aumenta el riesgo de infección, la necesidad de anticoagulación completa puede provocar complicaciones hemorrágicas, el uso de un circuito con una bomba extracorpórea produce hemólisis y esto asociado a la necesidad de transfusiones hace que aumente la respuesta inflamatoria sistémica²⁰⁻²³. A pesar de todo esto los resultados obtenidos en el último ensayo clínico aleatorizado multicéntrico, el estudio Cesar, son muy esperanzadores y muestran una mayor supervivencia para los pacientes tratados con ECMO frente a los que recibieron tratamiento convencional²⁴.

Actualmente en el Hospital Universitario de Regensburg Alemania^{4,14} se ha desarrollado un nuevo dispositivo de



Figura 1 Colocación de Novalung®.

asistencia respiratoria intervencionista (iLA) comercializado como Novalung®. Se trata de un dispositivo de extracción extracorpórea de CO₂ sin bomba que se basa en el concepto ya propuesto en 1967 por Rashkind²⁵. Este dispositivo consigue la eliminación pasiva de CO₂ por medio de un shunt arteriovenoso periférico, habitualmente mediante canalización percutánea de arteria y vena femoral, que utiliza solo al corazón como fuerza conductora¹². De forma que permite reducir los parámetros de ventilación mecánica hasta alcanzar niveles de ventilación protectora o estática, favoreciendo el descanso del pulmón y disminuyendo su daño. Para evitar el desreclutamiento alveolar y proporcionar una difusión mínima de O₂ durante su uso es necesario mantener un cierto nivel de PEEP^{26,27}. Por todas estas razones el Novalung® se ha convertido en un nuevo recurso para pacientes difíciles de ventilar que presentan hipoxemia refractaria grave, hipercapnia severa y tienen una elevada mortalidad, como son los pacientes con SDRA. Se compone de una red de membranas de difusión de microfibras de polimetilpenteno constituida por múltiples fibras huecas con microporos para el intercambio de gas^{22,28}. La principal limitación de este dispositivo es su escasa capacidad de oxigenación, dado que la sangre que recibe es sangre arterial, rica en oxígeno, por este motivo solo en situaciones de hipoxemia severa podría conseguirse cierta oxigenación^{22,29}.

En nuestro estudio describimos el caso de una paciente con SDRA en la que se aplicó el Novalung® y durante su uso fue necesario ponerla en decúbito prono (figs. 1 y 2). Se trata



Figura 2 Colocación de Novalung® decúbito prono.

de una situación muy poco usual, apenas hay descritos 3 casos en la bibliografía existente^{5,30,31}. Además, la literatura científica enfermera publicada es muy escasa y no existe ninguna guía de cuidados de estos pacientes³². Por todas estas razones decidimos plantearnos los siguientes objetivos:

- Describir el caso de una paciente portadora del dispositivo.
- Conocer la influencia de la posición (decúbito supino versus prono) en la funcionalidad del dispositivo y la ventilación de la paciente.
- Elaborar un protocolo de manejo y cuidados del paciente con Novalung®.

Material y métodos

Recogida de datos

En este caso clínico se describe la estancia en la UCI polivalente del Hospital Universitario 12 de Octubre de una paciente portadora de un circuito de extracción extracorpórea de CO₂ Novalung®. Para realizar este estudio se obtuvo el consentimiento informado de su familia. Se valoró la evolución de la paciente analizando los siguientes parámetros hemodinámicos: tensión arterial media (TAM), frecuencia cardiaca (FC), índice cardiaco (IC), variabilidad del volumen sistólico (VVS), agua extravascular pulmonar indexada (ELWI), índice del volumen global al final de la diástole (GEDI), resistencias vasculares sistémicas (RVS) y extracción horaria del hemofiltro. Parámetros respiratorios: PaO₂, PaCO₂, PO₂/FiO₂, SatO₂, volumen corriente espiratorio, presión control (PC) y presión positiva al final de la espiración (PEEP). Parámetros farmacológicos: días de administración y dosis de noradrenalina, midazolam, cloruro mórfico, cisatracurio y heparina. Parámetros analíticos: tiempo de cefalina. Parámetros de manejo del Novalung®: flujo de oxígeno y flujo de sangre del dispositivo. Parámetros nutricionales-metabólicos: días de soporte nutricional parenteral, enteral, glucemia y dosis de insulina. Parámetros de neuromonitorización: índice bispectral (BIS). Posición del paciente (decúbito supino y decúbito prono) y duración de los ciclos de decúbito prono.

Análisis de los datos

Las variables se expresaron con medidas de centralización (media o mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar o rango intercuartílico). Se recogieron los datos de la gráfica de registro horario contabilizando cada hoja como un día completo. El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS versión 15.0. Se exploró y comprobó la normalidad de las muestras de las variables estudiadas mediante el test de Kolmogorov-Smirnov. Se utilizó un test Anova de 2 vías para conocer el efecto del Novalung sobre la PaCO₂ teniendo en cuenta la posición del paciente. T de Student para identificar la influencia del Novalung® sobre el volumen corriente. Wilcoxon-Mann Whitney para estudiar la asociación entre el flujo de sangre del Novalung® y la posición del paciente, la PEEP y PC y la presencia del Novalung®. Spearman para correlacionar el flujo de sangre del Novalung® con la PaCO₂ y el flujo de O₂ del dispositivo con la PaO₂ y la

Tabla 1 Parámetros hemodinámicos

TAM mmHg	FC l/min	IC l/min/m ²	VVS unidad	RVS unidad	ELWI ml	GEDI Unidad
82 ± 9	110 ± 6	3,2 ± 0,8	14 ± 1	1.627 ± 264	33 ± 4	658 ± 142

ELWI: agua extravascular pulmonar indexada; FC: frecuencia cardiaca monitorizados durante ingreso. Parámetros del PICCO monitorizados durante los 5 días previos a inserción del Novalung®; GEDI: índice del volumen global al final de la diástole; IC: índice cardiaco; RVS: resistencias vasculares sistémicas; TAM: tensión arterial media; VVS: variabilidad del volumen sistólico.

PaCO₂. El nivel de significación estadística de p fue inferior a 0,05.

Resultados

La paciente estudiada fue una mujer de 46 años, sin antecedentes de interés, que ingresó en UCI por insuficiencia respiratoria aguda hipoxémica grave, debido a la presencia de un infiltrado subagudo en lóbulo inferior derecho, neumonía nosocomial sobreañadida con empiema derecho y neumotórax anterior derecho yatrogénico tras fibrobroncoscopia con biopsia transbronquial.

Al ingreso en UCI se administró oxigenoterapia con mascarilla reservorio, pero el deterioro respiratorio progresivo hizo necesaria la aplicación de ventilación mecánica no invasiva durante 17 h, posteriormente intubación orotraqueal con conexión a ventilación mecánica (VM) y colocación en decúbito prono de forma precoz, en las primeras 24 h. Se inició cobertura antibiótica para neumonía nosocomial con meropenem, linezolid y levofloxacino, que posteriormente se amplió con fluconazol.

Todos los datos obtenidos durante la estancia en UCI se han estructurado por sistemas y cuidados, para facilitar su lectura.

Cardiovascular

A lo largo de su estancia se monitorizaron los parámetros hemodinámicos habituales y los proporcionados por el sistema PICCO durante 5 días, antes de la inserción de los catéteres femorales arterial y venoso del Novalung®. En la *tabla 1* se pueden observar dichos parámetros. Preciso noradrenalina a 0,68 ± 0,79 µg/kg/min un total de 15 días de forma intermitente, por inestabilidad hemodinámica y dobutamina a 2,22 µg/kg/min 3 días para mantener los flujos de sangre del Novalung®. Se inició hemofiltración venovenosa continua a través de vena yugular derecha para tratar de disminuir el agua extravascular pulmonar y eliminar mediadores de la inflamación, con una mediana de extracción de 50 cc/h y rango intercuartílico de (150 - 25) cc/h en los 13,2 días de tratamiento, siendo el balance acumulado de 11 litros negativos. Los cuidados efectuados fueron los propios del paciente monitorizado y con técnicas de depuración extracorpórea, teniendo un preciso manejo y control de la administración de todos los fármacos y soluciones en perfusión continua o en bolo por vía endovenosa.

Respiratorio

La paciente presentó insuficiencia respiratoria aguda grave con criterios de síndrome de distrés respiratorio del adulto

(SDRA), manteniendo durante su ingreso una media de PaO₂ de 59 ± 13 mmHg, PaCO₂ 68 ± 35 mmHg, PaO₂/FIO₂ 69 ± 35 y SatO₂ 85 ± 12% obtenida mediante pulsioximetría (ver *fig. 3*). Por ello fue necesario pronar a la paciente en 4 ocasiones, el tiempo medio de los ciclos de prono fue de 53 ± 27 h con un máximo de 93 h. La presencia de fístula bronco-pleural bilateral con fuga del 50% del volumen, siendo el volumen corriente espirado durante VM de 389 ± 141 cc y la consiguiente aparición de neumotórax, obligó a la inserción de un total de 8 drenajes torácicos, 2 del número 20 y 3 del número 24 y 28. La paciente portó simultáneamente 4 tubos de tórax y su tiempo medio de permanencia fue de 9,5 ± 5 días. Al inicio de la VM se empleó ventilación controlada por volumen 4,63 días, a continuación volumen control regulado por presión 0,33 días y finalmente presión control 18,71 días. Previamente a la inserción del Novalung® se utilizaron parámetros ventilatorios elevados FiO₂ 95 ± 11 (rango 60-100), PC 29 ± 1 (rango 28-40) y PEEP 15 ± 2 (rango 12-24). Pero a pesar de la ventilación agresiva y los ciclos de prono, la situación de hipoxemia refractaria (PaO₂ 53 mmHg), hiper-capnia severa (PaCO₂ 131 mmHg), acidosis respiratoria (Ph 7,26) y la existencia de barotrauma importante (fístula bronco-pleural bilateral con fuga del 50%), hizo que se decidiera la inserción de un dispositivo de extracción extracorpórea de CO₂ Novalung®, para eliminar CO₂ y optimizar el manejo ventilatorio. La situación de hipoxemia refractaria persistió a pesar del uso del Novalung® incluso en decúbito prono, por lo que se decidió despronar a la paciente y se administró óxido nítrico inhalado 5 partes por millón durante 10 h. Los cuidados aplicados fueron los propios de un paciente con vía aérea artificial, ventilación mecánica y decúbito prono.

Nutricional-metabólico

Durante su ingreso la paciente recibió nutrición parenteral 3 días y nutrición enteral 22 días, con buena tolerancia incluso en decúbito prono y a pesar de recibir tratamiento con bloqueantes neuromusculares en infusión continua. Fue necesaria la administración de insulina en infusión continua para control glucémico a 0,71 ± 0,20 UI/kg/min según el protocolo de la unidad. Probablemente debido a la administración de corticoides para tratar el SDRA, que se aumentaron tras biopsia pulmonar informada como neumonía eosinofílica. Se consiguió mantener unas cifras de glucemia de 144 ± 30 mg/dl. Se administraron laxantes para forzar eliminación fecal, tras realizar el último ciclo de prono en presencia del Novalung®, debido a la gravedad, compromiso respiratorio y dificultad para la movilización de la paciente, se colocó una sonda de incontinencia fecal permanente Flexiseal®. Los cuidados de la misma y del soporte

nutricional se realizaron según los protocolos establecidos en la unidad.

Piel y mucosas

Se aplicaron como medidas de prevención la utilización de colchón antiescaras, cambios posturales, aplicación de ácidos grasos hiperoxigenados o apósitos hidrocoloides y colocación de almohadas en zonas de riesgo. La paciente solo presentó una pequeña úlcera por decúbito del catéter del sistema PICCO insertado en arteria femoral derecha, después del segundo ciclo de decúbito prono, de 1 cm de ancho por 2 cm de largo. Los cuidados de los ojos incluyeron: limpieza por arrastre con suero fisiológico, humectación corneal con lubricante y protección ocular con gasas húmedas durante los ciclos de prono.

Neurológico

Se mantuvo a la paciente en un rango de sedación profunda con un índice bispectral (BIS) de 44 ± 10 , mediante la administración de dosis elevadas de sedoanalgesia con midazolam a $7,24 \pm 2,9 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ y cloruro morfíco en infusión a $0,71 \pm 0,27 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 24 días, propofol a $22 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 3 días y relajación neuromuscular con cisatracurio en infusión a $5,3 \pm 0,95 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 23 días.

Infeccioso

Solo se identificó la presencia de *Cándida Albicans* en un cultivo de secreciones bronquiales. Se mantuvo una escrupulosa asepsia en el manejo de todos los dispositivos invasivos.

Aspectos psicosociales

Tras la llegada de la paciente a la UCI la enfermera responsable se presentó a la familia y le proporcionó un manual de acogida, donde se informa sobre: el equipo asistencial, el material de la habitación, la seguridad, aspectos generales del funcionamiento de la unidad, la visita de la familia y el final de la estancia en la UCI. El apoyo a la familia

durante los 25 días de ingreso de la paciente incluyó múltiples intervenciones entre las que destacaron: identificar nivel de ansiedad y resolver miedos, dudas y temores, proporcionar información clara, sencilla, concisa y específica sobre las necesidades de la paciente, flexibilizar el horario de visitas, favorecer la intimidad con un ambiente adecuado y tranquilo, orientar sobre la actitud a seguir durante la ventilación no invasiva (transmitir tranquilidad y mensajes positivos, potenciar la comunicación no verbal, realizar preguntas cerradas...), motivar la participación e instruir en los cuidados básicos y ayudar a aceptar las malas noticias. La paciente no respondió a los esfuerzos terapéuticos por lo que se proporcionó apoyo y acompañamiento durante el duelo.

Se solicitó estudio necrópsico que informó de la existencia de un adenocarcinoma pulmonar con patrón broncoalveolar.

Manejo del Novalung®

El Novalung® se colocó a los 13 días de ingreso y se mantuvo durante 12 días. Se canalizó arteria femoral derecha con cánula de 13 Fr y vena femoral izquierda con cánula de 15 Fr con técnica de Seldinger, según se describe más adelante en el protocolo de manejo y cuidados del paciente con Novalung®. Se incrementó progresivamente el Flujo de O_2 , según los requerimientos de la paciente, siendo el flujo máximo alcanzado de 14 l/min. Se anticoaguló a la paciente con heparina sódica en infusión continua a $0,18 \pm 0,14 \text{ UI}/\text{kg}/\text{min}$, manteniendo un tiempo parcial de tromboplastina activada (TTPA) de $57,56 \pm 16,41 \text{ s}$ durante la terapia con el dispositivo. El Novalung® redujo la hipercapnia (ver fig. 3) y consecuentemente la acidosis respiratoria. La interacción entre la posición de la paciente y la presencia del Novalung® no influyó significativamente ($p=0,34$) sobre la PaCO_2 . Para conocer la influencia de ambos factores de forma individual se corrigió el modelo, observándose que la posición no influía significativamente ($p=0,91$) sobre la PaCO_2 , sin embargo el Novalung® disminuyó significativamente ($p=0,005$) la PaCO_2 de $66 \pm 21 \text{ mmHg}$ a $56 \pm 9 \text{ mmHg}$, como se puede observar en la figura 3. La influencia del Novalung® sobre los parámetros ventilatorios se muestra en la tabla 2. El flujo de sangre del dispositivo disminuyó

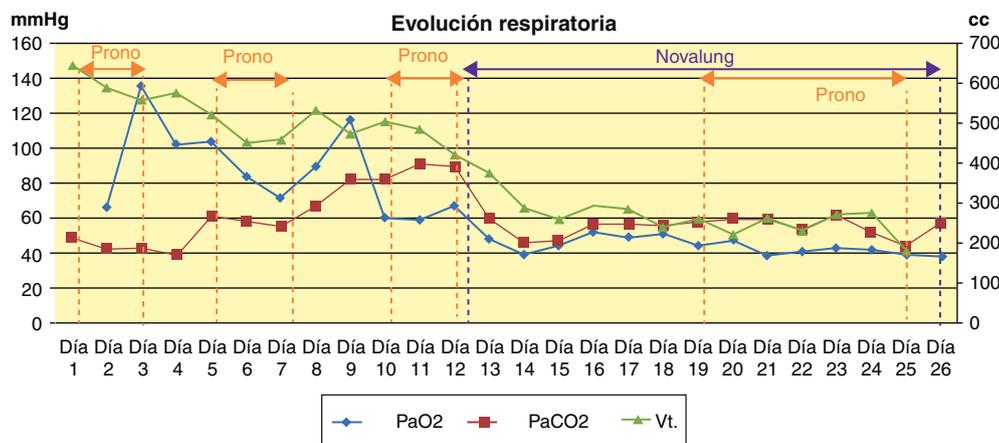


Figura 3 Evolución respiratoria.

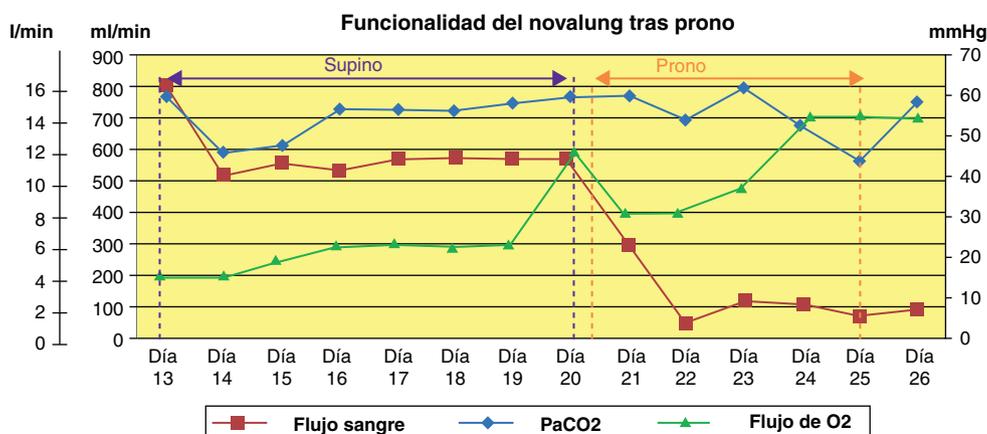


Figura 4 Funcionalidad del Novalung® tras prono.

significativamente ($p=0,001$) al cambiar a la paciente de supino a prono de 1.053 ± 82 ml/min a 113 ± 112 ml/min (ver fig. 4). No se observó asociación entre el flujo de sangre del dispositivo y la PaCO₂ ($p=0,2$), ni entre el flujo de O₂ del dispositivo la PaO₂ ($p=0,05$) y la PaCO₂ ($p=0,13$). La paciente no presentó complicaciones ni asociadas al dispositivo ni a los ciclos de decúbito prono.

Protocolo de manejo y cuidados del paciente con Novalung®

Definición y características

El Novalung® es un dispositivo de asistencia respiratoria intervencionista (iLA) sin bomba con baja resistencia al flujo sanguíneo, que permite la eliminación pasiva de CO₂ mediante un shunt arteriovenoso periférico, utilizando el corazón como fuerza conductora. El circuito del Novalung® tiene un volumen total de 240 ml y se compone de un catéter arterial de un calibre de 13 a 19 french, una membrana de intercambio gaseoso de un solo uso y un catéter venoso de un calibre de 15 a 21 french para el retorno. El dispositivo está compuesto de una red de membranas de difusión de microfibras de polimetilpenteno con una superficie efectiva de 1,3 m². La red está diseñada geométricamente para ofrecer la menor resistencia al flujo de sangre y esta constituida por múltiples fibras huecas con microporos para el intercambio de gas. El oxígeno circula (como una línea de gas) dentro de los huecos de las fibras y el CO₂ se mueve por una difusión selectiva a través del gradiente de concentración de la sangre. Los polipéptidos y la heparina no fraccionada están adheridas a la membrana expuesta a la circulación sanguínea para mejorar la biocompatibilidad y reducir la incidencia de

trombosis. El flujo de sangre a través del dispositivo está determinado por la presión arterial media. Una presión arterial media de 70 mmHg produce un flujo de 1 a 1,5 l/min y elimina 200 ml/min de CO₂. La limpieza de CO₂ depende del flujo de sangre y del flujo de oxígeno. El flujo de O₂ se debe ajustar según los requerimientos del paciente, el fabricante recomienda no superar un flujo de O₂ de 12 l/min.

Indicaciones

El Novalung® está indicado en aquellos pacientes que presenten hipoxemia refractaria grave, hipercapnia severa, que no han respondido al tratamiento convencional.

- Para favorecer la recuperación de: neumonía severa, SDRA, broncoespasmo, obstrucción de la vía aérea, reanudación EPOC y trauma torácico.
- Para controlar hipertensión intracraneal en paciente neurocrítico con fracaso respiratorio asociado.
- En el postoperatorio de cirugía torácica: neumonectomía, reparación de fístulas y trasplante pulmonar.
- Como soporte hasta el trasplante pulmonar.

Contraindicaciones

- Trombocitopenia inducida por heparina.
- Insuficiencia cardíaca, Shock cardiogénico y séptico.
- Enfermedad vascular de miembros inferiores.
- Niños con peso inferior a 20 kg por el diámetro de las cánulas (no hay calibres inferiores a 13 (fr) y el flujo de sangre requerido).

Recursos humanos

Inserción, conexión y mantenimiento.

- Un médico canaliza arteria femoral y vena femoral contralateral, conecta el dispositivo, controla anticoagulación, indica flujo de O₂, ajusta los parámetros del ventilador y supervisa el correcto funcionamiento.
- Una enfermera purga el dispositivo, ayuda al médico a conectarlo, garantiza la esterilidad de procedimiento, controla el estado general del paciente y realiza los cuidados de mantenimiento.

Tabla 2 Influencia del Novalung® en parámetros ventilatorios

	Con Novalung®	Sin Novalung®	P
Vt	267 ± 72	512 ± 67	0,0001
PC	17 ± 3	30 ± 1	0,0001
PEEP	10 ± 2	15 ± 2	0,0001

PC: Presión Control; PEEP: Presión positiva al final de la espiración; Vt: volumen tidal.

- Una auxiliar de enfermería prepara el material, asiste al médico, a la enfermera y garantiza esterilidad de procedimiento.

Retirada. Médico, enfermera, auxiliar de enfermería y 2 celadores trasladan al paciente a quirófano para la retirada del dispositivo

Material necesario

- Vestimenta estéril: gorro, mascarilla, bata y guantes estériles.
- Campo estéril: sábana, gasas, compresas y apósitos estériles.
- Set de Novalung®: membrana, línea arterial, línea venosa, conexión de purgado, suero fisiológico 0,9% de 250, sistema de suero, 2 clamps, 2 tapones de seguridad, alargadera de O₂ y base de sujeción.
- Set de acceso vascular NovaPort®: aguja de punción, aguja de purgado, bisturí, dilatador, cánula de 13 a 19 fr, clamp y conector de seguridad Luer.
- Monitor y sensor de flujo.
- Bomba infusión y perfusión de heparina

Purgado del dispositivo

- El purgado de la membrana del Novalung® se realizará conectando la línea arterial y venosa a la conexión de purgado y esta a su vez a un sistema de suero y un suero fisiológico 0,9% de 250 cc.
- Antes del purgado, se deben retirar y guardar los 2 tapones amarillos que se encuentran en el vértice superior de la membrana, para facilitar la eliminación de las burbujas de aire durante el purgado.
- El dispositivo debe estar en un punto alto durante su purgado.
- Dar suavemente con la palma de la mano en la base del dispositivo para purgar el posible aire del sistema.
- Una vez purgado y asegurado la eliminación del aire, conectar nuevamente los 2 tapones amarillos, colocar los clamps en las proximidades de las salidas de los tubos del dispositivo, cerrar la línea de la solución y retirar el sistema de llenado.

Técnica de inserción y conexión

- Antes de insertar el Novalung® se debe realizar un eco-doppler para medir el diámetro interno de arteria femoral, descartando ateromatosis, calcificaciones anormales y anomalías venosas.
- Seleccionar tamaño de cánulas: el tamaño de la cánula arterial debe ser al menos un 20% menor que el diámetro interno de la arteria y la cánula venosa utilizada debe ser de un tamaño mayor que la arterial.
- Canalizar mediante técnica de Seldinger primero la arteria femoral y luego la vena con técnica estéril. Una vez canalizadas se aseguran con un punto. La inserción bilateral es la más recomendada.
- Conectar una jeringa de 20 cm. con suero fisiológico heparinizado (10 UI/mL) al conector de seguridad Luer. Se retira el alambre guía y se conecta a la cánula el conector de seguridad Luer para lavarla.

- Retirar lentamente el conector de seguridad Luer mientras se lava la cánula y cuando se visualice la tercera marca del mismo se coloca en clamp.
- Humedecer con suero la silicona que se encuentra en el extremo de la cánula. Unir la cánula con la línea arterial del Novalung®, dando una ligera rotación hasta que suene un primer clip.
- A través del puerto Luer acabar de purgar rellenando con suero fisiológico estéril con la aguja de purgado que se encuentra en el set.
- Después de purgar el aire cerrar el puerto Luer. Retirar el clamp de la línea arterial del Novalung® (no el de la cánula), revisar que no haya aire residual (si hubiese, aire repetir paso anterior), y proceder a hacer el segundo clip.
- Luego repetir el procedimiento en el lado venoso.
- Colocar el dispositivo en la base de sujeción.
- Una vez realizado todo el proceso anterior conecte el tubo de oxígeno al puerto de entrada de gas. No obstruir la salida de gas.
- Para iniciar el tratamiento retirar el clamp de la cánula venosa, esperar unos minutos y muy lentamente retirar el clamp de la cánula arterial en 1-2 minutos para minimizar los efectos producidos por el shunt arteriovenoso.
- Encender monitor Novaflow y conectar sensor de flujo al monitor y a la línea venosa del Novalung®.
- Al inicio administrar un flujo de O₂ de 1 l/min e incrementarlo progresivamente 1 l/min cada 20 min hasta alcanzar valores gasométricos adecuados. El flujo máximo recomendable es de 12 l/min.

Cuidados durante terapia con Novalung®

- Tras conexión del dispositivo, monitorizar gasometría arterial cada 30 min las primeras 2 h, cada hora las siguientes 12 h, posteriormente cada 6 h y tras 24 h según criterio médico.
- Regular flujo de O₂ según resultados gasométricos y disminuir parámetros ventilatorios simultáneamente en función de los requerimientos del paciente, hasta alcanzar parámetros de ventilación protectora: presión pico inspiratoria inferior a 20 cm H₂O, volumen corriente de 2-4 ml/kg, y PEEP mayor de 10 cm H₂O.
- Monitorización del flujo de sangre existente a través del dispositivo, para conocer capacidad de funcionamiento del Novalung®.
- Vigilancia estrecha de monitorización hemodinámica, sobre todo tras la conexión del dispositivo. Mantener tensión arterial media mayor de 60 mmHg, para garantizar un flujo adecuado de sangre al dispositivo. Sí es preciso administrar volumen o drogas vasoactivas.
- Monitorizar pulsos periféricos (pedio y tibial posterior) y temperatura de ambos miembros inferiores. Registrar calidad de pulsos y simetría mediante cruces cada 2 h, para detectar precozmente la presencia de isquemia especialmente en el lado de la cánula arterial.
- La anticoagulación debe adecuarse a la situación individual del paciente. Se recomienda al iniciar la terapia con el Novalung® administrar anticoagulación sistémica con heparina sódica en infusión continua a 5-10 UI/kg, para mantener un TTPA en torno a 50-55 s. En pacientes con riesgo de sangrado (como pacientes con hemorragia cerebral, hemorragia digestiva alta,

- rectorragia, traumáticos... etc.) se valorará la ausencia de anticoagulación.
- Si se administra heparina sódica, monitorizar TTPA cada 24 h o a demanda según resultados y ajuste de dosis.
 - Para optimizar flujo sanguíneo a través del dispositivo mantener hematocrito por debajo del 30%.
 - Vigilar que la salida de gas no se encuentre obstruida, para garantizar el descenso de los niveles de CO₂.
 - Vigilar correcto ajuste de conexiones, presencia de coágulos (especialmente en la superficie de la membrana de la línea venosa), funcionamiento e integridad del dispositivo.
 - Mantener cerca del paciente 4 clamps para paliar precozmente hemorragia si se produjera desconexión del dispositivo.
 - Evitar la administración de fenitoina, propofol y soluciones ricas en triglicéridos porque se depositan en la membrana.
 - Realizar cura estéril de ambas cánulas según el Protocolo de Bacteriemia Cero y vigilar signos de infección.

Retirada del dispositivo

- El dispositivo será retirado si se observa la presencia de aire o agua, si se coagula, si no funciona o si el paciente presenta mejoría clínica, radiológica y funcional (SatO₂ ≥ 95% con FiO₂ ≤ 50%).
- Para iniciar el destete del dispositivo reducir progresivamente el flujo de O₂ con control gasométrico hasta detenerlo.
- Tras mantener detenido el flujo de O₂ durante 3 h realizar gasometría, si confirma normocapnia comenzar tramites de retirada del dispositivo. Suspender infusión de heparina sódica y avisar a cirujanos vasculares para programar retirada en quirófano.
- Después de que hayan transcurrido un mínimo de 4 h desde la suspensión de la infusión de heparina sódica y en coordinación con el equipo quirúrgico trasladar al paciente a quirófano.

Discusión

La instauración del Novalung® en este caso permitió mantener una ventilación protectora, necesaria para favorecer la cicatrización de una importante fístula broncopleurales bilateral y corrigió la hipercapnia y acidosis respiratoria. El dispositivo mejoró la ventilación pero no se observó un incremento de los parámetros de oxigenación, como en la mayoría de los casos descritos³³⁻³⁶. Este dispositivo no está diseñado para optimizar la oxigenación, porque al utilizar un shunt arteriovenoso la sangre que llega a la membrana es sangre arterial^{22,37}. Probablemente los casos descritos en los que se incrementó la oxigenación se deba a la mejoría clínica de los pacientes^{27,38}.

La ventilación protectora o estática se caracteriza por el uso de PEEP elevadas. El estudio experimental de Jungebluth et al.²⁶ identifica las cifras de PEEP más recomendables, para optimizar el uso del Novalung®, entre 15-20 cmH₂O. En este caso empleamos cifras algo más bajas, dado que la paciente presentaba fístula broncopleurales bilateral con importante fuga y se ha demostrado

experimentalmente que la PEEP influye en el volumen de la fístula y la perpetúa^{30,39}.

La paciente no presentó complicaciones asociadas al dispositivo, como las descritas en la evidencia, fundamentalmente sangrado e isquemia del miembro inferior en el que se canaliza la arteria femoral^{12,22}.

Los estudios experimentales de Zhou et al.²³ e Iglesias et al.⁴⁰ demuestran que la eliminación de CO₂ depende directamente del flujo de O₂ y del flujo de sangre del dispositivo, algo que en este caso no se observó, ya que se mantuvo el descenso de los niveles de CO₂ a pesar de los cambios en ambos parámetros y no se evidenció asociación significativa. Cuando se puso a la paciente en decúbito prono se detectó un gran descenso del flujo de sangre sin que la paciente presentase deterioro hemodinámico, que mejoró ligeramente tras retirar la almohada de la cintura pélvica. A pesar de este descenso del flujo de sangre la PaCO₂ no se incrementó significativamente, pero fue necesario aumentar progresivamente el flujo de O₂ de 8 hasta un máximo de 14 l/min. Probablemente el descenso del flujo de sangre se deba a que cuando la paciente fue pronada el dispositivo ya llevaba funcionando 8 días y al cambiar a la paciente de posición se movilizara, dentro de la membrana, algún coágulo que dificultó el flujo a través del dispositivo. Cuando la paciente fue despronada el flujo de sangre se incrementó ligeramente. Los casos descritos con Novalung® en prono^{5,30,31} no reflejan cambios en el flujo de sangre, ni la influencia de la posición del paciente sobre la funcionalidad del dispositivo. El flujo de O₂ máximo recomendado es de 12 l/min, pero debido al importante descenso del flujo sanguíneo del dispositivo durante el prono y a la mala evolución clínica de la paciente se decidió aumentar hasta 14 l/min, sin obtenerse ninguna mejoría de la hipoxemia severa.

Para realizar el último ciclo de decúbito prono en presencia del Novalung® se retiró el dispositivo de su base de sujeción y una persona se encargó exclusivamente de controlarlo durante el procedimiento. Una vez efectuada la movilización a decúbito prono, siguiendo el protocolo existente en la unidad, se giró la membrana 180 grados sobre sí misma, de forma que el puerto de entrada del flujo de O₂ quedara en la parte superior de esta y se volvió a dejar colocada sobre la base de sujeción. Para paliar rápidamente la hemorragia que podría producirse si se desconectara el dispositivo se mantuvieron 4 clamps cerca de la paciente en todo momento.

La principal limitación de este estudio es que el análisis de la influencia de la posición decúbito prono sobre la funcionalidad del dispositivo se reduzca a la experiencia obtenida en un solo caso. Al tratarse de un dispositivo novedoso, de elevado coste y aplicado en casos muy concretos poco frecuentes, sería interesante la obtención en distintos centros de series de casos más amplias.

Después de tener esta experiencia en el manejo y los cuidados de un paciente con Novalung® en decúbito prono, podemos decir que gracias a las dimensiones reducidas del dispositivo fue posible realizar la técnica de decúbito prono con éxito y sin complicaciones. Se pudo aplicar una ventilación protectora con normocapnia. El flujo de sangre del dispositivo disminuyó significativamente durante la posición decúbito prono, pero este descenso no influyó en la funcionalidad del Novalung®.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración desinteresada de Juan Carlos Montejo González (Jefe del Departamento de Medicina Intensiva) Teodoro Grau Carmona y Susana Temprano Vázquez (médicos adjuntos del Servicio de Medicina Intensiva UCI Polivalente), Esteban Molano Álvarez (supervisor de enfermería de la UCI Polivalente) y a todo el equipo asistencial (enfermeros, médicos, auxiliares de enfermería y celadores) de la UCI-P del Hospital Universitario 12 de Octubre por la ayuda prestada.

Bibliografía

- Zanella N, Patroniti N, Pesenti A. Soporte respiratorio extracorporeo en la insuficiencia respiratoria aguda. En: Roglán A, Net A, editores. *Disfunción renal aguda en el paciente crítico*. Barcelona: Ars Médica; 2009. p. 91–9.
- Vasilyev S, Schaap RN, Mortense JD. Hospital survival rates of patients with acute respiratory failure in modern respiratory intensive care units. An international multicenter prospective survey. *Chest*. 1995;107:1083–8.
- Lewandowski K, Rossaint R, Pappert D. High survival rate in 122 ADRS patient managed according to a clinical algorithm including extracorporeal membrane oxygenation. *Intensive Care Med*. 1997;23:819.
- Liden V, Palmer K, Reinhard J, Westman R, Ehrén H, Granholm T, et al. High survival in adult patient with acute respiratory distress syndrome treated by extracorporeal membrane oxygenation, minimal sedation, and pressure supported ventilation. *Intensive Care Med*. 2000;26:1630–7.
- Hammell C, Forret M, barret P. Clinical experience with a pumpless extracorporeal lung assist device. *Anaesthesia*. 2008;63:1241–4.
- Midla GS. EXtracorporeal circulatory systems and their role in military medicine: a clinical review. *Military Med*. 2007;172:523–5.
- Pinhu L, Whitehead T, Evans T, Griffiths M. Ventilator-associated lung injury. *Lancet*. 2003;361:332–40.
- Cooper SJ. Methods to prevent ventilator-associated lung injury: a summary. *Intensive Crit Care Nurs*. 2004;20:358–65.
- The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. Ventilation with lower tidal volume as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *New England Journal of Med*. 2000;342:1301–8.
- Meade MO, Cook DJ, Guyatt GH, Slutsky AS, Arabi YM, Cooper DJ, et al. Ventilation strategy using low tidal volumes, recruitment maneuvers, and high positive end-expiratory pressure for acute lung injury and acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial. *JAMA*. 2008;299:637–45.
- Petrucchi N, Iacovelli W. Lung protective ventilation strategy for the acute respiratory distress syndrome. *Cochrane data base of systematic reviews* 2007, ISSUE 3. [<http://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD003844>].
- Iglesias M, Martínez E, Badia JR, Macchiarini P. Extrapulmonary ventilation for unresponsive severe acute respiratory distress syndrome after pulmonary resection. *Ann Thorac Surg*. 2008;85:237–44.
- Ranieri VM, Suter PM, Tortorella C, De Tullio R, Dayer JM, Brienza A, et al. Effect of mechanical ventilation on inflammatory mediators in patients with acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial. *JAMA*. 1999;282:54–61.
- Bein T, Weber F, Philipp A, Passer C, Pfeifer M, Schmid FX, et al. A new pumpless extracorporeal interventional lung assist in critical hypoxemia/hypercapnia. *Crit Care Med*. 2006;34:1372–7.
- Consentino F, Paganini E, Lockrem J, Stoller J, Wiedemann H. Continuous arteriovenous hemofiltration in the adult respiratory distress syndrome. A randomized trial. *Contrib Nephro*. 1991;93:94–7.
- Zwissler B, Kemming G, Habler O, Klenn M, Merkel M, Haller M, et al. Inhaled prostacyclin (PGI₂) versus inhaled nitric oxide in adult respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 1996;154:1671–7.
- Guerin C, Badet M, Rosselli S, Heyer L, Sab J, Langevin B, et al. Effect of prone position on alveolar recruitment and oxygenation in acute lung injury. *Intensive Care Med*. 1999;25:1222–30.
- Hill DJ. Prolonged extracorporeal oxygenation for acute post-traumatic respiratory failure (shock-lung syndrome). *N Engl J Med*. 1972;286:629–34.
- Zwischenberger JB, Lynch JE. Will Cesar answer the adult ECMO debate? *Lancet*. 2009;374:1307–8.
- Georg Matheis. New technologies for respiratory assist. *Perfusion*. 2003;18:245–51.
- Meyer AL, Strueber M, Tomaszek S, Goerler A, Simon AR, Have-rich A, et al. Temporary cardiac support with a mini-circuit system consisting of a centrifugal pump and a membrane ventilator. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2009;9:780–3.
- Twigg S, Gibbon GJ, Perris T. The use of extracorporeal carbon dioxide removal in the management of life-threatening bronchospasm due to influenza infection. *Anaesth Intensive Care*. 2008;36:579–81.
- Zhou X, Ioran DB, Wag D, Hyde BR, Lick S, Zwischenberger B. Seventy-two hour gas exchange performance and hemodynamic properties of Novalung iLa as a gas exchanger for arteriovenous carbon dioxide removal. *Perfusion*. 2005;20:303–8.
- Peek JG, Mugford M, Tiruvoipati R, Wilson A, Allen E, Thalany MM, et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (Cesar): a multicenter randomised controlled trial. *Lancet*. 2009;374:1351–63.
- Rashkind WJ, Miller WW, Falcone D, Toft R. Hemodynamic effects of arteriovenous oxygenation with a small-volume artificial extracorporeal lung. *J Pediatr*. 1967;70:425–9.
- Jungebluth P, Iglesias M, Go T, Sibila O, Macchiarini P. Optimal positive end-expiratory pressure during pumpless extracorporeal lung membrane support. *Artif Organs*. 2008;11:885–90.
- Nielsen ND, Kjaergaard B, Koefoed-Nielsen J, Steensen CO, Larsson A. Apneic Oxygenation combined with extracorporeal arteriovenous carbon dioxide removal provides sufficient gas exchange in experimental lung injury. *ASAIO J*. 2008;54:401–5.
- Fernández P, Muñoz P, Fischer D, Méndez F, Florenzano M, Valdés S, et al. Uso del dispositivo de asistencia respiratoria Novalung como Puente al trasplante pulmonar: caso clínico. *Rev Med Chile*. 2009;137:1363–6.
- Kjaergaard B, Christensen T, Neumann PB, Nürnberg B. Aero-medical evacuation with interventional lung assist in lung failure patients. *Resuscitation*. 2007;72:280–5.
- Hommel M, Deja M, Von Dossow V, Diemel K, Heidenhain C, Spies C, et al. Bronchial fistulae in ARDS patients: management with an extracorporeal lung assist device. *Eur Respir J*. 2008;32:1652–5.
- Mallick A, Elliot S, McKinlay J, Bodenham A. Extracorporeal carbon dioxide removal using the Novalung® in a patient with intracranial bleeding. *Anaesthesia*. 2007;62:72–4.
- Gordon E. Innovation in technology Novalung iLa challenges for the field of critical care nursing. *Dynamics*. 2009;20:14–7.

33. Fischer S, Simon AR, Welte T, Hoeper MM, Meyer A, Tessmann R, et al. Bridge to lung transplantation with the novel pumpless interventional lung assist device Novalung. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2006;131:719–23.
34. Weber-Carstens S, Bercker S, Hommel M, Deja M, Macguill M, Dreykluft C, et al. Hypercapnia in late-phase ALI/ARDS: providing spontaneous breathing using pumpless extracorporeal lung assist. *Intensive Care Med.* 2009;35:1100–5.
35. Fischer S, Hoeper MM, Tomaszec S, Simon A, Gottlieb J, Welte T, et al. Bridge to lung transplantation with the extracorporeal membrane ventilator Novalung in the veno-venous mode: the initial Hannover experience. *ASAIO J.* 2007;53:168–70.
36. Elliot SC, Paramasivam K, Oram J, Bodenham AR, Howell SJ, Mallick A. Pumpless extracorporeal carbon dioxide removal for life-threatening asthma. *Crit Care Med.* 2007;35:945–8.
37. McKinlay J, Chapman G, Elliot S, Mallick A. Pre-emptive Novalung-assisted carbon dioxide removal in a patient with chest, head and abdominal injury. *Anaesthesia.* 2008;63:767–70.
38. Camboni D, Philipp A, Arlt M, Peiffer M, Hilker M, Schmid C. First Experience with a paracorporeal artificial lung in humans. *ASAIO J.* 2009;55:304–7.
39. Dennis JW, Eigen H, Ballantine TV, Grosfeld JL. The relationship between peak inspiratory pressure and positive end expiratory pressure on the volume of air lost through a bronchopleural fistula. *J Pediatr Surg.* 1980;15:971–6.
40. Iglesias M, Jungebluth P, Sibila O, Aldabo I, Matute MP, Petit C, et al. Experimental safety and efficacy evaluation of an extracorporeal pumpless artificial lung in providing respiratory support through the axillary vessels. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2007;133:339–45.