

ARTÍCULO ORIGINAL

## ► ARRESTO CIRCULATORIO EN HIPOTERMIA MODERADA Y OXIGENACIÓN PULMONAR AUTÓLOGA. EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN HEMODINÁMICA Y RESPIRATORIA.

AUTOR:

DRES. MARTÍN A. MARCOS<sup>1</sup> / OSCAR ROBLEDO<sup>1</sup> / MARÍA B BRAVO<sup>4</sup>  
PABLO BARRENA<sup>3</sup> / MARISA DIEZ<sup>1</sup> / JAVIER MOULY<sup>2</sup> / PABLO PEREDA<sup>1</sup>  
EDUARDO J. DURANTE<sup>1</sup> / CARLOS PRESA<sup>5</sup>

*Recibido:* Enero 2010

*Aceptado:* Abril 2010

*Correspondencia:* mmarcos@nucleobiomedica.com.ar

### RESUMEN

**Introducción:** En la actualidad, el interés de diversos grupos en evaluar los efectos del arresto circulatorio en distintos grados de hipotermia, se muestra de manifiesto en los numerosos artículos de investigación realizados en modelos animales. Nuestro trabajo propone realizar en forma experimental, la técnica de arresto circulatorio en hipotermia moderada utilizando oxigenación pulmonar autóloga a la que hemos denominado (MHCA-AO).

**Objetivo:** Evaluar el impacto de la técnica MHCA-AO sobre función hemodinámica y pulmonar en ovinos de experimentación.

**Materiales y Métodos:** Se utilizaron cinco ovinos, a los cuales se les realizó asistencia ventricular izquierda (aurículo-femoral) mediante bomba a rodillo.

La asistencia se utilizó para mantener la PAM en 50-60 mmHg y para realizar el descenso de temperatura corporal hasta los 25°C. Tras el clampeo aórtico, se administró solución cardioplégica cristaloide a 4 °C. Luego de 12 minutos se retiró el clamp aórtico y se reinició el flujo de bomba y el respirador.

Se tomaron las muestras para el estudio en T0 (basal), T1 (toracotomía), T2 (30°C), T3 (25°C), T4 (post arresto circulatorio).

**Resultados:** No hubo complicaciones hemodinámicas en la etapa de enfriamiento. Se evidenciaron cambios en las presiones arteriales de oxígeno que se correspondió a la toracotomía y a la hipotermia PaO<sub>2</sub> c (530) T0, (190) T1, (295) T2, (225) T3, (140) T4; aunque la saturación de oxihemoglobina se mantuvo en valores superiores a 97% en toda la experiencia.

En la etapa de post-arresto cardioplégico, dos animales desarrollaron fibrilación ventricular, una de ellas, refractaria al tratamiento.

La función pulmonar evaluada con el índice Iox (0,99) T0, (2,7) T1, (1,78) T2, (2,3) T3, (2,3)

<sup>1</sup>Servicio Central de Cirugía. F.C.V.- U.N.L.P. / <sup>2</sup>Hospital Escuela. F.C.V. - U.N.L.P.

<sup>3</sup>Servicio de Cardiología. FCV - UNLP / <sup>4</sup>Perfusionista Profesional - Miembro de APRA

<sup>5</sup>M.R. CACCV (Miembro Recertificado Colegio Argentino Cirujanos Cardiovasculares)

T4, como valor pronóstico de mortalidad se encontró acorde a la recuperación de los animales.

**Conclusión:** La combinación de oxigenación pulmonar autóloga y asistencia ventricular izquierda parcial, permite conducir, en forma eficaz, a temperaturas de hipotermia moderada con adecuada estabilidad hemodinámica y sin alteraciones del ritmo cardíaco para el posterior arresto circulatorio.

Los cambios en la PaO<sub>2</sub> e índice Pa/Fi se correlacionaron con la interpretación de la ley de Henry de los gases.

El Iox permitió predecir la recuperación clínica. El mismo se correlacionó con el destete de la asistencia circulatoria de cuatro animales en ritmo sinusal y con ventilación espontánea.

**Palabras claves:** Asistencia circulatoria. Hipotermia moderada. Ovino. Arresto circulatorio. Oxigenación autóloga.

## RESUMO

### PARADA CIRCULATÓRIA EM HIPOTERMIA MODERADA E OXIGENAÇÃO PULMONAR AUTÓLOGA (AcM-OA). AVALIAÇÃO DA FUNÇÃO HEMODINÂMICA E RESPIRATÓRIA.

**Introdução:** Atualmente diversos grupos estão interessados em avaliar os efeitos da parada circulatória em diferentes graus de hipotermia. Está descrita em numerosos artigos de investigação realizados em modelos animais. Nosso trabalho propõe realizar experimentalmente a técnica de parada circulatória em hipotermia moderada, utilizando oxigenação pulmonar autóloga, à qual denominamos (MHCA-AO).

**Objetivo:** Avaliar o impacto da técnica (MHCA-AO) sobre a função hemodinâmica e pulmonar em ovinos submetidos à experimentação.

**Materiais e Métodos:** Foram utilizados cinco ovinos, realizando-lhes assistência ventricular esquerda (aurículo-femoral), mediante bomba de rolete.

A assistência foi utilizada para manter a PAM em 50-60mmHg, e para realizar a diminuição da temperatura corporal até alcançar os 25°C. Após o clamp aórtico, administrou-se solução cardioplégica cristaloide a 4 °C. Depois de 12 minutos, retirou-se o clamp aórtico, e reiniciou-se o fluxo de bomba e o respirador.

As amostras para o estudo foram tomadas em T0 (basal), T1 (toracotomia), T2 (30°C), T3 (25°C), T4 (pós parada circulatória)

**Resultados:** Não houve complicações hemodinâmicas na etapa de esfriamento. Evidenciaram-se alterações nas pressões arteriais de oxigênio, correspondentes à toracotomia e à hipotermia PaO<sub>2</sub> c (530) T0, (190) T1, (295) T2, (225) T3, (140) T4, embora a saturação de oxihemoglobina tenha se mantido em valores superiores a 97% durante toda a experiência.

Na etapa pós parada cardioplégica, dois animais desenvolveram fibrilação ventricular, uma delas, refratária ao tratamento.

A função pulmonar avaliada com o índice Iox (0,99) T0, (2,7) T1, (1,78) T2, (2,3) T3, (2,3) T4, como valor pronóstico de mortalidade, foi concordante com a recuperação dos animais.

**Conclusão:** A combinação de oxigenação pulmonar autóloga e assistência ventricular esquerda parcial, permite conduzir eficazmente a temperaturas de hipotermia moderada, com adequada estabilidade hemodinâmica e sem alterações no ritmo cardíaco, para a posterior parada circulatória.

As mudanças na PaO<sub>2</sub> e índice Pa/Fi estiveram correlacionadas com a interpretação da lei de Henry dos gases.

O Iox, permitiu prever a recuperação clínica. O mesmo correlacionou-se com a interrupção da assistência circulatória de quatro animais em ritmo sinusal e com ventilação espontânea.

**Palavras chave:** Assistência circulatória. Hipotermia moderada. Ovino. Parada circulatória. Oxigenação autóloga.

## ABSTRACT

### MODERATE HYPOTHERMIA IN CIRCULATORY ARREST AND PULMONARY OXYGENATION AUTOLOGIST (ACHM-OA). EVALUATION OF THE HEMODYNAMIC AND RESPIRATORY FUNCTION

**Introduction:** Nowadays, the interest of different groups in order to evaluate the effects of the circulatory arrest in different hypothermia levels is shown in numerous research works carried out in animals. Our study proposes to fulfill the technique of the moderate hypothermia in circulatory arrest using pulmonary oxygenation autologist in an experimental way to which we have denominated (ACHM-OA).

**Objective:** To evaluate the impact of the (MHCA-OA) technique over hemodynamic and pulmonary function in experimental sheep.

**Materials and Method:** Five sheets were used to which it was done the ventricular assist (atrio-femoral) by a roller pump.

The assistance was done to maintain la PAM in 50- 60 mmHg and to carry out a decrease of body temperature up to 25°C. After the aortic clamping crystalloid cardioplegic solution at 4 ° C was administered. After 12 minutes, the aortic clamping was taken out and the pump flow and ventilator were restated.

The samples for the present study were taken en T0 (basal), T1 (thoracotomy), T2 (30°C), T3 (25°C), T4 (post circulatory arrest).

**Results:** There were no hemodynamic complications in the cooling stage. Changes in the blood pressures of oxygen corresponded to the thoracotomy were shown and the PaO<sub>2</sub> c hypothermia (530) T0, (190) T1, (295) T2, (225) T3, (140) T4, though the oxyhemoglobin saturation was maintained in superior values to 97% through the whole experience.

During the period of cardioplegic arrest post, 2 animals suffered from ventricular fibrillation, one of them refractory to treatment.

The pulmonar function which was evaluated with Iox (0,99) T0, (2,7) T1, (1,78) T2, (2,3) T3, (2,3) T4 index as prognostic value of mortality in accordance with the recovery of the animals.

**Conclusion:** The combination of autologous lung oxygenation and left ventricular assist partial permits to lead in an efficient way the moderate hypothermia temperatures with an adequate hemodynamic stability and without alterations of the cardiac rhythm for the posterior circulatory arrest.

The changes in the PaO<sub>2</sub> and the Pa/Fi index are correlated to the interpretation of Henry's law of gases.

The Iox has permitted to predict the clinical recovery. This one was correlated with the weaning from circulatory support of four animals in sinus rhythm and spontaneous ventilation.

**Key words:** Circulatory assistance. Moderate hypothermia. Sheet. Circulatory arrest. Autologous oxygenation.

## INTRODUCCIÓN

La hipotermia neuroprotectiva sigue siendo en el mundo de la investigación una materia en constante estudio.

En la actualidad el interés de distintos grupos en evaluar el arresto circulatorio en hipotermia moderada con o sin medida neuroprotectora anexa, se muestra de manifiesto en los numerosos artículos de investigación realizados en modelo animal. Los mismos utilizan puente cardiopulmonar con oxigenación de membrana (CPB-MO).

Estos trabajos desde la última década, han puesto como piedra fundamental de su investigación, distintos conceptos o interrogantes.

El grupo Finlandés del Dr. Juvonen T., estudió las variables de mortalidad en un modelo crónico porcino luego de arresto circulatorio e hipotermia profunda realizado durante 75 minutos a 20°C. Este estudio completo que se centró en el transporte de oxígeno, concluyó que la variable cualitativa estadísticamente significativa se encontraba resguardada en el protocolo anestésico empleado.

En el año 2004, el grupo de la Universidad de Nueva York, liderado por el Dr. Strausch, proponen utilizar a la Cyclosporina A como fármaco neuroprotector asociado, considerando en no pedirle "todo" a la hipotermia. Es así que presentan su trabajo en modelo porcino crónico con enfriamiento a 10°C y arresto prolongado de 90 minutos. Concluyen en el mismo, que esta asociación se comporta como un sinergismo de potenciación frente a los resultados de *score* neurológico, comparado con animales sin Ciclosporina A.

Muchos son los fármacos en los que hoy la neurociencia deposita expectativa y donde la eritropoyetina recombinante se está considerando debido a su capacidad de inhibir la apoptosis neuronal.

El grupo de Hannover, Alemania, liderado por el Dr. Hagl C., centró sus esfuerzos a lo largo de distintas investigaciones para identificar factores relacionados con la morbilidad y mortalidad en la injuria neurológica. En el año 2004, presentaron su investigación sobre el impacto en la recuperación metabólica neurológica en un modelo porcino agudo, sometido a arresto circulatorio hipotérmico con y sin perfusión cerebral anterógrada selectiva

fría. En el mismo, reconocen que este último grupo mejora su *score* neurológico con disminución del edema cerebral, de la presión intracraneana y de la acidosis cerebral.

Ya en el año 2006, Hagl et al, siguiendo su línea de ciencias básicas enfrentan al cerebro durante el período de arresto circulatorio a perfusión selectiva a distintas temperaturas: moderada, baja y profunda. En el año 2007, presentan el reporte clínico en 13 pacientes con reparación de arco aórtico durante arresto circulatorio a temperaturas corporales de hipotermia moderada, sin ninguna medida neuroprotectiva anexa y sin lesión neurológica concomitante en el post-operatorio.

Frente a esta reseña nos propusimos como objetivo que la sangre no entre en contacto con membranas de oxigenación artificial, donde tendría un importante impacto en la atenuación del síndrome de respuesta inflamatoria sistémica (SIRS). El informe del 2007 basado en la evidencia del Western Infimary Glasgow, Inglaterra, reportado en el grupo OPCAB, en un detallado estudio, concluyen que existe una importante disminución del SIRS, a pesar que no lo evita por completo. El trauma quirúrgico, la manipulación cardíaca, la succión del pericardio, heparina, protamina y otras drogas son factores de co-morbilidad.

### ABREVIATURAS UTILIZADAS EN ESTE ARTÍCULO

**CO2:** dióxido de carbono  
**PAM/S/D:** presión arterial media, sistólica, diastólica  
**PVC:** presión venosa central  
**Pa/FiO2:** relación PaO2/FiO2  
**Paw:** presión media de vía aérea  
**PaO2:** presión arterial de oxígeno  
**IOx :** índice de oxigenación  
**PIM:** presión inspiratoria máxima  
**PEEP:** presión positiva a fin de expiración  
**FR:** frecuencia respiratoria  
**FIO2:** fracción inspirada de oxígeno  
**AI:** aurícula izquierda  
**AF:** arteria femoral  
**VI:** ventrículo izquierdo  
**SDRA:** Síndrome de distress respiratorio agudo

Mendler N. et al, del German Heart Center Munich, publica en el 2000, su trabajo experimental de función pulmonar luego de *bypass* biventricular con oxigenación pulmonar autóloga. Sobre sus alentadores resultados de preservación de la función pulmonar y tras una comunicación personal, nos inspiramos en este concepto.

En el año 2002, Marques E. del InCor, San Pablo, Brasil, publica en la Revista Brasileira de Cirugía Cardiovascular, un trabajo experimental de circuitos simples para CEC con oxigenación autóloga. Recalca la posibilidad de mantener las variables hemodinámicas y gasométricas durante toda la experiencia.

Aunque la fisiopatología de la circulación extracorpórea (CEC) de la hipotermia y el éstasis circulatorio han sido ampliamente descriptos durante su historia, la dinámica de cambios hemodinámicos en la oxigenación y ventilación durante el período de enfriamiento e inmediatamente posteriores a un arresto circulatorio en hipotermia moderada (MHCA), en organismos en asistencia circulatoria y oxigenación pulmonar autóloga (APO), no tiene registros en la literatura consultada.

Nuestro trabajo propone realizar, en forma experimental, la técnica de arresto circulatorio en hipotermia moderada utilizando oxigenación pulmonar autóloga a la que hemos denominado MHCA-AO.

Consideramos que evaluar la oxigenación mediante los postulados de la física de los gases (ley de Henry), su interacción con la mecánica pulmonar y la influencia de la temperatura, daría una interpretación de la función pulmonar integrada a la cambiante fisiología en la curva de tiempo de la experiencia.

Dicha ley fue formulada en 1803 por William Henry. Enuncia que a una temperatura constante, la cantidad de gas disuelta en un líquido es directamente proporcional a su coeficiente de solubilidad y a la presión parcial que ejerce ese gas sobre el líquido.

$$\text{Presión} = \frac{\text{Concentración de gas disuelto}}{\text{Coeficiente de solubilidad}}$$

Esta ley dice que un gas se disuelve en un líquido sin combinarse y que la absorción de-

pende de la naturaleza del líquido y del gas, de la temperatura y de la presión del gas.

El coeficiente de absorción disminuye con el aumento de la temperatura. Es decir que:

1. Cuando la temperatura disminuye, la solubilidad de los gases aumenta.
2. Cuando la temperatura aumenta, la solubilidad de los gases disminuye.
3. Cuando la solubilidad disminuye, hay menos gas en solución.
4. Cuando la solubilidad aumenta, hay más gas en solución.
5. Cuando mayor sea la solubilidad de un gas en un líquido, menor será su presión parcial y por el contrario a menor solubilidad mayor será su presión parcial.
6. Como corolario, la solubilidad y la presión parcial de un gas varían en forma opuesta según los cambios de la temperatura. Pero el número de moléculas de ese gas en la masa líquida permanece siempre constante.

Para evaluar si el intercambio de oxígeno era satisfactorio, se evaluó la relación entre presión arterial de oxígeno y la fracción inspirada del mismo (Pa/Fi).

Debido a que estos valores no son útiles para pronóstico de mortalidad, se incorporaron a nuestra experiencia los valores correspondientes al índice de oxigenación (IOx). El mismo, que incorpora el valor de presión media de la vía aérea (Paw), ha demostrado ser de utilidad en algunos grupos poblacionales como el de los pacientes pediátricos y está tomando en la actualidad mayor trascendencia en los pacientes adultos.

El índice de oxigenación se obtiene a través de la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{I.Ox.} = \text{Paw} \times \text{FiO}_2 \times 100 / \text{PaO}_2$$

Paw es la presión media de vía aérea, FiO<sub>2</sub>, la fracción inspirada de oxígeno, y PaO<sub>2</sub>, la presión de oxígeno en sangre arterial.

Dado que la Pa/Fi no considera la Paw y el IOx si, entendimos que integrar el comportamiento de gases en hipotermia a estos valores, sería representativo frente a la interpretación dinámica de la función pulmonar en hipotermia y post-arresto circulatorio como valor pronóstico de mortalidad.



$$Paw = \frac{(PIM \times Ti) + (PEEP \times Te)}{Ti + Te}$$

Paw: presión media de vía aérea; PIM: presión inspiratoria máxima; Ti: tiempo inspiratorio; PEEP: presión positiva al final de la espiración; Te: tiempo espiratorio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron cinco ovinos de 25 Kg.(+3), machos. Previamente, fueron hospitalizados para su correcta evaluación clínica y acondicionamiento sanitario. Se realizaron como estudios pre-operatorios: radiografía torácica, electrocardiograma, ecocardiografía, análisis hematológico, bioquímico y perfil hemostático.

Se los sometió a un ayuno de 24 hs. de alimento y de 12 hs. de agua. La mañana de la operación se sedaron con Xilazina 0,06 mg/kg. y recibieron una dosis de Dexametasona de 20 mg/IV. Se les colocó en la vena cefálica catéter radiopaco de teflón n20 y se procedió a controlar el hematocrito para el cálculo correcto de la hemodilución.

Se realizó inducción anestésica con tiopental sódico 10 mg/kg/EV, intubación orotraqueal y conectado a circuito de anestesia inhalatoria con isoflurano, cuya concentración se varió entre 0,5 y 2 % para el manejo de la PAM dado por el efecto sobre la resistencia vascular periférica. Se les administró fentanilo 5-5-10mcg/kg/EV cada 30-40 minutos y pavalón 0,1mg/kg/EV repetido según necesidad.

Se utilizó un respirador Okimura, el seteo del mismo fue 8 R/min, Fio2 100%, relación I/E 1:2, flujo de 4 lts/min.

El soporte inotrópico se utilizó según necesidad. Se registró en forma continua e.c.g., temperatura central, pam-d-s, pvc, oximetría y capnografía, con un monitor multi-paramétrico y hemogasometría arterial y venosa seriada.

Se creó el circuito con tubuladuras 3/8 y 1/4, pista siliconada 3/8 para bomba roller (Sanrs) y un intercambiador de temperatura en espiral. Se purgó con Ringer Lactato desde un recipiente estéril presente en la mesa de instrumentación.

La metodología propuesta fue conducir la hipotermia mediante un circuito simple de asistencia ventricular izquierda (Imagen 1). Se realizó toracotomía en 4to. espacio intercostal izquierdo y carpa pericárdica con seda 2-0. En la AI se realizó una jareta con prolene 4-0. Mediante abordaje al triángulo femoral derecho, se disecó la arteria femoral y se reparó con cinta hilera.

La TCA basal fue de 60 segundos. Se administró Heparina sódica (300 Ui/K). Se colocó una cánula 14Fr en la AI (Imagen 2) y una cánula 10 Fr en AF.

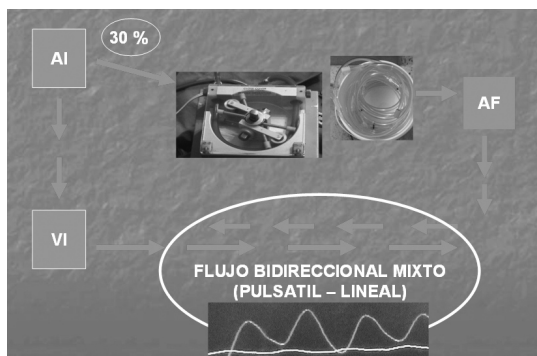


Imagen 1



Imagen 2

Se utilizó la asistencia para mantener la PAM en 50-60mmHg y realizar el descenso de temperatura corporal hasta los 25°C. Durante la curva de enfriamiento se planteó como estrategia mantener la glucemia menor a 200mg/dl, normocalcemia, bicarbonato normal y un manejo ácido base Ph stat.

En el transcurso del mismo, se disecó la aorta ascendente y se realizó una jareta con prolene 4-0.

En la temperatura deseada, se procedió a detener la bomba y al respirador, manteniendo una PEEP constante de 4mmHg durante el período de arresto. Tras el clampeo aórtico, se colocó en la jareta, un catéter 18G para la infusión de solución cardioplégica cristaloide a 4°C.

Luego de 12 minutos se retiró el clamp aórtico, se reinició el flujo de bomba, el respirador y se procedió a la resucitación cardíaca y recalentamiento.

Las muestras para el estudio realizado fueron tomadas en T0 (basal), T1 (toracotomía), T2 (30°C), T3 (25°C), T4 (post-arresto circulatorio).

## RESULTADOS

### SEGUIMIENTO HEMODINÁMICO

No se presentaron arritmias ni fibrilación en el período de enfriamiento de la experiencia(T0 a T3).

La PVC se mantuvo estable entre 8 y 10 cmH<sub>2</sub>O(T0 a T4).

La PAM no descendió los 50 mmHg.

La actividad cardíaca retornó con ritmo idioventricular en tres animales por tiempo de 60 segundos con paso a ritmo sinusal de forma autónoma.

En otro dos, el ritmo de salida fue la fibrilación ventricular que requirió desfibrilación interna. Uno se convirtió a ritmo sinusal. El otro tuvo fibrilación refractaria asociada con una contractura ventricular (*stone heart*).

### FUNCIÓN PULMONAR

Las medias de las variables registradas FR, R i-e, PIM, PEEP, FiO<sub>2</sub>, oximetría, capnografía, PaCo<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub>, fueron:

**T0 registradas** FR(10), R i-e (1-2) PIM (14), PEEP (1), FiO<sub>2</sub> (1), SaO<sub>2</sub> (99%), ETCO<sub>2</sub> (50).

**calculadas** Paw ( 3,3), Pa/FiO<sub>2</sub> (535), Iox (0,99) PaO<sub>2</sub> c (530) PaCo<sub>2</sub> c ( 53).

**T1 registradas** FR(16), R i-e (1-2) PIM (14), PEEP (1), FiO<sub>2</sub> (1), SaO<sub>2</sub> (97%), ETCO<sub>2</sub> (46).

**calculadas** Paw ( 5,3), Pa/FiO<sub>2</sub> (190), Iox (2,7) PaO<sub>2</sub> c (190) PaCo<sub>2</sub> c ( 59).

**T2 registradas** FR(16), R i-e (1-2) PIM (14), PEEP (1), FiO<sub>2</sub> (1), SaO<sub>2</sub> (99%), ETCO<sub>2</sub> (40).

**calculadas** Paw ( 5,3), Pa/FiO<sub>2</sub> (295), Iox (1,78) PaO<sub>2</sub> c (295) PaCo<sub>2</sub> c ( 56).

**T3 registradas** FR(16), R i-e (1-2) PIM (14), PEEP (1), FiO<sub>2</sub> (1), SaO<sub>2</sub> (98%), ETCO<sub>2</sub> (37).

**calculadas** Paw ( 5,3), Pa/FiO<sub>2</sub> (225), Iox (2,3) PaO<sub>2</sub> c (225) PaCo<sub>2</sub> c ( 40).

**T4 registradas** FR(16), R i-e (1-2) PIM (14), PEEP (1), FiO<sub>2</sub> (1), SaO<sub>2</sub> (97%), ETCO<sub>2</sub> (30).

**calculadas** Paw ( 5,3), Pa/FiO<sub>2</sub> (140), Iox (2,3) PaO<sub>2</sub> c (140) PaCo<sub>2</sub> c ( 52).

## DISCUSIÓN

El descenso de la temperatura en técnicas de arresto circulatorio en hipotermia profunda o media no debe ser abrupto; buscándose una caída suave, lo ideal es de 1° grado cada dos minutos. Nuestra curva de enfriamiento con este desvío parcial fue de 40 minutos desde los 38°C a 25°C.

Aunque la conducción de la hipotermia estuvo libre de eventos arrítmicos, la recuperación post-cardioplegia fue heterogénea.

Dos animales presentaron fibrilación ventricular, en uno de éstos fue refractaria a la desfibrilación interna y estuvo asociada con una contractura cardíaca. Estos animales tuvieron valores bajos de Ph arterial (7,2) previo al arresto.

No se observaron cambios importantes en la PVC. La PAM pudo mantenerse en un valor superior de 50 mmHg, en todas las etapas de la experiencia, demostrando la eficacia de

la asistencia circulatoria con un flujo parcial del 30% del volumen minuto, principalmente en la etapa de mayor hipotermia y en el post-arresto (T3 y T4). En un solo animal se necesitó utilizar soporte vasomotor con infusión de Dopamina.

En algunos períodos de hipertensión, se utilizó un goteo de nitroglicerina para su control y el aumento del porcentaje del isoflurano por su efecto en la disminución de la resistencia vascular periférica.

De acuerdo con los datos de función pulmonar recolectados pudimos calcular la Pwa, Pa/FiO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub> y PCo<sub>2</sub> a temperatura corregida.

Estas dos últimas (PaO<sub>2</sub> y PCo<sub>2</sub>) presentan cambios dinámicos en el período de enfriamiento dados por la ley de Henry en la compresión de los gases y cambios de solubilidad. No obstante la Sao<sub>2</sub> no tuvo cambios significativos (Gráfico 1).

Es interesante observar los cambios presentes en la (Pa/FiO<sub>2</sub>) como posible indicador de lesión pulmonar (Gráfico 2). La aplicación práctica de la física de los gases nos muestra el efecto de la temperatura sobre la PaO<sub>2</sub> (Grá-

fico 3) y nos explica los cambios en la Pa/FiO<sub>2</sub>.

Algunos de los valores observados eran compatibles con LPA (lesión pulmonar aguda) la cual cursa con valores de Pa/Fi = a 300 y otros con SIRA (síndrome de insuficiencia respiratoria aguda) que se presentan con relación Pa/Fi = 200.

No obstante, la misma no considera la presión media de la vía aérea (Paw). Es por eso que decidimos incorporar el Iox. El mismo se mantuvo dentro de valores aceptables (Gráfico 4). Este índice permitió predecir la recuperación clínica. El mismo se correlacionó con el destete de la asistencia circulatoria de cuatro animales en ritmo sinusal y con ventilación espontánea.

El IOx ha demostrado tener valor pronóstico de mortalidad y nos orienta hacia la terapia a emplear en nuestros pacientes. Índices menores a 10 nos hablan de un SDRA leve a moderado y habitualmente no existe la necesidad de limitar volúmenes o presiones.

## CONCLUSIONES

La combinación de oxigenación pulmo-

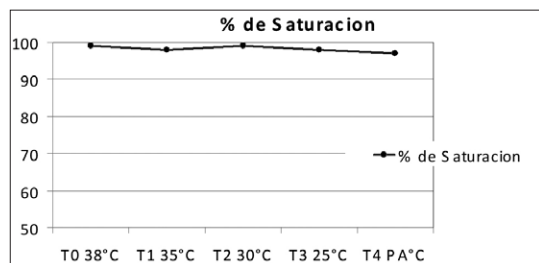


Foto 2

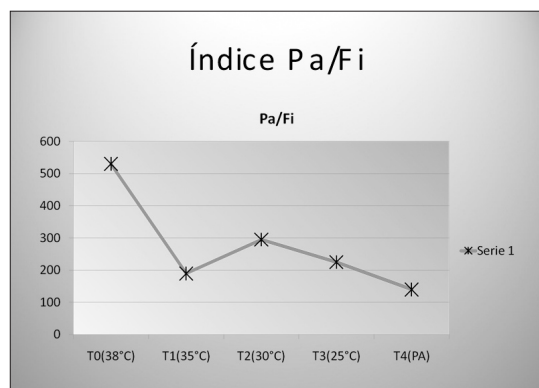


Foto 2

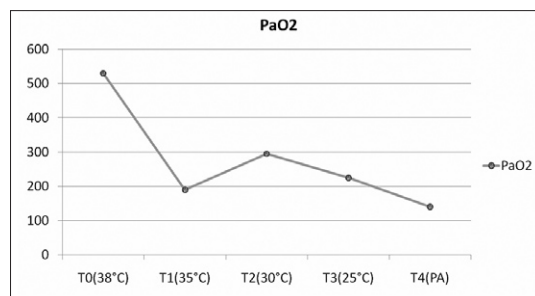


Foto 3

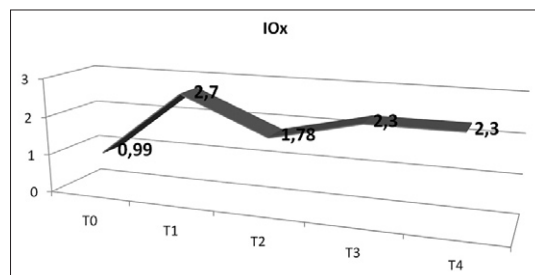


Foto 4



nar autóloga y asistencia ventricular izquierda parcial, permite conducir en forma eficaz a las temperaturas de hipotermia moderada para el posterior arresto circulatorio con adecuada estabilidad hemodinámica y sin alteraciones del ritmo cardíaco. El punto crítico fue la etapa de reanimación post-cardioplegia en dos animales. Ésto se asoció con valores de Ph bajos pre-arresto en T3.

La función pulmonar en hipotermia de acuerdo con nuestra evaluación se consideró aceptable; permitiendo un adecuado intercambio, transporte y entrega de oxígeno a los tejidos. La utilización del IOx y la interpretación de la ley de Henry de los gases fueron de fundamental importancia. La incorporación de estos valores de monitorización permite evaluar tanto la dinámica del intercambio gaseoso como el pronóstico de mortalidad.

Este protocolo tiene la finalidad de desarrollar un modelo alternativo a los convencionales descriptos en la introducción para su futura aplicación en el estudio de fármacos neuroprotectores de la isquemia cerebral global y ser modelo de desarrollo de técnicas quirúrgicas bajo arresto circulatorio en hipotermia moderada sin oxigenación de membrana.

Proyectamos extender el tiempo de arresto circulatorio junto a la asociación con drogas protectoras de la isquemia cerebral global en la próxima etapa.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Klotz S, Scheld HH. Primary extracorporeal membrane oxygenation versus primary ventricular assist device implantation in low cardiac output syndrome following cardiac operation. *Artif Organs*. 2007 May;31(5):390-4
2. Ronsi P, Rönkä E, Kiviluoma K, Vainionpää V, Hirvonen J, Mennander A, Pokela M, Biancari F, Rimpiläinen J, Juvonen T. Potential neuroprotective benefits of erythropoietin during experimental hypothermic circulatory arrest. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2002 Oct;124(4):714-23
3. Kamiya H, Klima U, Hagl C, Kallenbach K, Shrestha ML, Khaladj N, Bog A, Haverich A, Karck M. Short moderate hypothermic circulatory arrest without any adjunctive cerebral protection for surgical repair of the ascending aorta: is safe? *Heart Surg Forum*. 2006;9(4):E759-61
4. Mendler N, Heimisch W, Schad H. Pulmonary function after biventricular autologous lung oxygenation. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2000 Mar;17(3):325-30
5. Potapov EV, Stiller B, Hetzer R. Ventricular assist devices in children: Current achievements and future perspectives. *Pediatr Transplant*. 2007 May; 11(3):241-55
6. Terry B, Gunst G, Melchior R, Wolfe D, Feocco N, Graham S, Searles, Darling E. A description of a prototype miniature extracorporeal membrane oxygenation circuit using current technologies in a sheep model. *J Extra Corpor Technol*. 2005 Sep;37(3):315-7
7. Kikugawa D. Motor current waveforms as an index for evaluation of native cardiac function during left ventricular support with a centrifugal blood pump. *Artif Organs*. 2001 Sep;25(9):703-8
8. Guyton Tratado de fisiología médica, 8va ed.
9. Trachsel D, McCrindle BW, Nakagawa S et al. Oxygenation index predicts outcome in children with acute hypoxemic respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med*. 2005;172:206-211
10. Seeley EJ, Kallet Rh et al. Predictors of mortality in acute lung injury during the era of lung-protective ventilation. University of California, San Francisco, United States. *Thorax* 2008 Jun 19
11. Kamiya H, Hagl C et al. Quick proximal arch replacement with moderate hypothermic circulatory arrest. *Ann Thorac Surg*. 2007 Mar;83(3):6
12. Houssay, B. y col. Fisiología Humana. 3a edición El Ateneo. 359, 1954
13. Artigas A, Gordon R, Bernard J, Carlet, Dreyfuss D, Gattinoni, L, Hudson L, Lamy M, Marini J, Matthay M, Pinsky, M, Spragg M, Suter P and the Consensus Committee. The American-European Consensus Conference on ARDS, Part 2. Ventilatory, pharmacologic, supportive therapy, study design strategies, and issues related to recovery and remodeling. *Am J Respir Crit Care Med* 157:1332-1347
14. Verónica Colín Espinosa, Enrique Monares Zepeda, Cristian Sánchez Castrillo, José Javier, Elizalde González, Manuel Poblano Morales, Janet Aguirre Sánchez, II Jesús Martínez Sánchez. "Índices de oxigenación como factores pronósticos en el síndrome de insuficiencia respiratoria aguda en etapa temprana y tardía. Revista de la Asociación Mexicana de Medicina Crítica y Terapia Intensiva. [www.medigraphic.com](http://www.medigraphic.com)
15. Trachsel D, McCrindle BW, Nakagawa S et al. Oxygenation index predicts outcome in children with acute hypoxemic respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med*. 2005;172:206-211