

Protocolo de perfusión cerebral anterógrada con parada circulatoria total en hipotermia profunda

INTRODUCCIÓN

En la mayor parte de las intervenciones de cirugía cardiaca donde es necesario actuar sobre el arco aórtico, es imprescindible la interrupción total de la circulación y, por tanto, también la cerebral (parada circulatoria total) durante un período de tiempo determinado, lo que implica un alto riesgo de morbilidad y mortalidad.

El cerebro depende totalmente de la glicólisis aerobia, por lo que la reducción o cese del aporte de oxígeno inicia un proceso patológico que lleva a la aparición de lesiones isquémicas cerebrales irreversibles en un corto período de tiempo. En condiciones de normotermia, el cerebro no tolera interrupciones del aporte sanguíneo.

En la actualidad existen técnicas de protección cerebral que pretenden minimizar los efectos deletéreos de la isquemia durante el paro circulatorio, permitiendo así un mayor tiempo de cirugía para realizar la corrección sobre el arco aórtico, donde nacen los troncos supraaórticos, de los que depende directamente la circulación cerebral.¹

Los métodos de protección cerebral son:¹

- Hipotermia profunda con parada circulatoria.
- Perfusión cerebral anterógrada.
- Perfusión cerebral retrógrada.

La duración de la parada circulatoria y el grado de hipotermia se relacionan con la severidad de las lesiones.

RESUMEN / ABSTRACT

Revisión y actualización del protocolo de perfusión cerebral anterógrada (PCA) con parada circulatoria total (PCT) en hipotermia profunda (HP) por parte del equipo de perfusión del Hospital Virgen del Rocío. Se genera fruto del consenso del equipo de perfusión como una guía de actuaciones donde se han unificado los criterios para la atención de aquellos pacientes sometidos a cirugía cardiaca de arco aórtico y que precisan de perfusión cerebral anterógrada, con parada circulatoria total e hipotermia profunda.

En la actualidad, este protocolo se encuentra aprobado y en funcionamiento en el Servicio de Cirugía Cardíaca donde están recopilados de forma ordenada todas las pautas de actuación para disminuir los riesgos de los pacientes sometidos a este tipo de intervención quirúrgica y aumentar la seguridad de sus cuidados.

Los autores de este protocolo declaran no tener conflictos de interés en la elaboración/ revisión de este protocolo.

Review and update of antegrade cerebral perfusion protocol (PCA) with total circulatory arrest (PCT) in deep hypothermia (HP) by the infusion of the Virgen del Rocío Hospital. Result of consensus of the infusion as a guide to actions which have been unified criteria for the care of patients undergoing cardiac surgery requiring aortic arch and antegrade cerebral perfusion, with total circulatory arrest and deep hypothermia is generated.

At present this protocol is approved and running in Cardiac Surgery Service which are collected in an orderly all lines of action to reduce the risks of patients undergoing this type of surgery and increase the safety of their care.



Juan Manuel Carballo Caro

Perfusionista
Hospital Universitario Virgen del Rocío (Sevilla)

Sergio Caballero Gálvez

Perfusionista
Hospital Universitario Virgen del Rocío (Sevilla)

Cristina Tocón Alé

Perfusionista
Hospital Universitario Virgen del Rocío (Sevilla)

Diego Solís Clavijo

Perfusionista
Hospital Universitario Virgen del Rocío (Sevilla)

Correspondencia:

Juan Manuel Carballo Caro
Unidad de Perfusión. Servicio de Cirugía Cardíaca
U.G.C. Área del corazón
Hospital Universitario Virgen del Rocío
Av Manuel Siurot, s/n, 41013 Sevilla
jumacc@yahoo.es

Recibido: diciembre de 2014
Aceptado: enero de 2015

Las técnicas de inducción de hipotermia sistémica y de perfusión regional cerebral pueden prolongar el tiempo de interrupción de la circulación cerebral sin causar daño. La hipotermia sistémica disminuye las necesidades metabólicas del organismo, y la perfusión cerebral permite el mantenimiento del flujo cerebral durante la parada circulatoria.²

Se considera hipotermia al descenso de la temperatura corporal central por debajo de 35°C. Según el grado de hipotermia inducida alcanzado, se considera hipotermia ligera o superficial entre 32 y 35°C, hipotermia moderada entre 26 y 32°C, e hipotermia profunda por debajo de 26°C, siendo muy profunda por debajo de 20°C (Anexo I).³

La hipotermia enlentece todos los procesos y reacciones bioquímicas, en especial las reacciones enzimáticas. El enlentecimiento de las actividades metabólicas reduce significativamente el consumo de sustratos metabólicos y de oxígeno. El consumo normal de oxígeno disminuye hasta un 50% con hipotermia moderada de 28°C, y hasta un 30% con hipotermia de 25°C. El consumo de oxígeno disminuye de forma exponencial alrededor de un 9% por cada grado de reducción de temperatura. Pero a pesar de estas ventajas, la hipotermia también tiene una serie de consecuencias y efectos negativos en diferentes zonas del organismo.³

La tolerancia a la isquemia es variable según los diferentes órganos, siendo la médula espinal y el cerebro mucho más sensibles. Las consecuencias de las lesiones de la isquemia, igualmente son muy variables, como alteraciones pulmonares, neurológicas y coagulopatías.

La hipotermia sistémica durante la circulación extracorpórea (CEC) ha permitido reducir en mayor o menor medida los flujos de perfusión, hasta el extremo que con hipotermia profunda se pueda efectuar y tolerar un paro circulatorio total. Es difícil establecer con exactitud los intervalos de seguridad durante un paro circulatorio total a diferentes temperaturas. La hipotermia puede retrasar pero no prevenir indefinidamente la aparición de cambios metabólicos así como deterioro neurológico. La temperatura cerebral y el tiempo de PCT están inversamente relacionados y condicionan el margen de seguridad de preservación cerebral.³

En términos generales, y en relación al daño neurológico potencial, el período de tiempo seguro de parada bajo hipotermia profunda es de 30 minutos, y no debería extenderse más allá de 45 minutos. La incidencia y severidad de complicaciones neurológicas crece rápidamente a partir de los 45 minutos de parada circulatoria total;² y por encima de los 60 minutos aumenta la incidencia de accidentes cerebrovasculares y la mortalidad⁴ (Anexo II). Por ello, cuando se prevén períodos de isquemia superior a 30-40 minutos deben asociarse otros métodos de protección cerebral, siendo la perfusión cerebral selectiva anterógrada hipotérmica el método más efectivo y seguro.³

La perfusión cerebral anterógrada (PCA) selectiva es la técnica de elección en la cirugía de arco aórtico. Disminuye las complicaciones neurológicas y su mortalidad, permitiendo iniciar la PCT a temperaturas más moderadas y aumentar su duración aliviando la presión del tiempo en reparaciones aórticas complejas.

La PCA se realiza a través de los troncos supraaórticos, que deben canularse y conectarse al sistema de perfusión durante la PCT y tiene como objetivo una perfusión cerebral homogénea y continuada, manteniendo un flujo de 8-10 ml/Kg/min y con una presión de perfusión de 50-60 mmHg. Un flujo inferior podría inducir isquemia cerebral, mientras que uno mayor podría inducir edema o hemorragias cerebrales.

Habitualmente se canula el tronco braquiocefálico y la arteria carótida izquierda, y se ocluye la arteria subclavia izquierda. Los troncos deben rodearse con un torniquete para evitar que la cánula retroceda hacia la aorta durante la infusión. Durante la introducción y retirada de estas cánulas se debe evitar fenómenos de embolia, principalmente de aire, una de las complicaciones potenciales de la perfusión anterógrada.²

Varios estudios recientes han demostrado que la PCA puede realizarse a través de una sola arteria carótida con resultados similares a las perfusiones bitronculares. La utilización de un solo tronco, generalmente el tronco braquiocefálico y carótida derecha, tiene la ventaja de la sencillez, ya que utiliza el mismo acceso arterial que para la perfusión sistémica, además de una menor manipulación de los orificios de salida de los troncos.

Hay que tener en cuenta la presencia de un polígono de Willis permeable para conseguir una protección completa, aunque si éste no es permeable, la llegada de sangre al hemisferio contralateral se consiga a través de circulación craneal colateral. Hecho este muy discutido. La medida de la presión retrógrada en la arteria carótida izquierda pinzada en su origen y el retorno de sangre son indicadores de buena perfusión colateral.²

OBJETIVOS

Disminuir la variabilidad en la atención y los cuidados de los pacientes sometidos a cirugía cardiaca de arco aórtico con parada circulatoria total en hipotermia profunda y perfusión cerebral anterógrada.

Normalizar la práctica y mejorar la calidad de los cuidados.

Disminuir los riesgos para el paciente y aumentar su seguridad.

PROCEDIMIENTO

La planificación previa de la técnica es fundamental y debe estar organizada para obtener un resultado satisfactorio. Por ello, el equipo responsable (cirujano, anestesiólogo y perfusio-

nista) debe establecer claramente la estrategia a seguir, ya que de ella va a depender en gran medida el resultado de la cirugía.

La estrategia a seguir tiene como objetivos fundamentales:²

- Disminuir la demanda energética del cerebro y de la médula espinal.
- Disminuir farmacológicamente el impacto de la PCT sobre el cerebro.
- Aportar flujo sanguíneo cerebral por vías accesorias temporales.
- Reducir el tiempo de PCT.

Tanto la complejidad de la técnica quirúrgica a realizar como la técnica de perfusión deben estar meditados y preparados tanto en su planteamiento inicial como en sus posibles complicaciones.

La selección de la técnica, modificación del circuito de CEC y elección del sistema y cánulas para la PCA pueden variar en función del diseño y recursos que en cada servicio se disponga. Incluso de la elección del propio cirujano.

La metodología que seguimos en nuestro servicio es la siguiente (Anexo III):

PREPARACIÓN DEL MATERIAL Y PACIENTE.

Preparación del circuito de CEC con triple sistema de perfusión independiente: sistémica, cerebral y miocárdica.

Modificación del circuito de CEC para el sistema de perfusión cerebral:

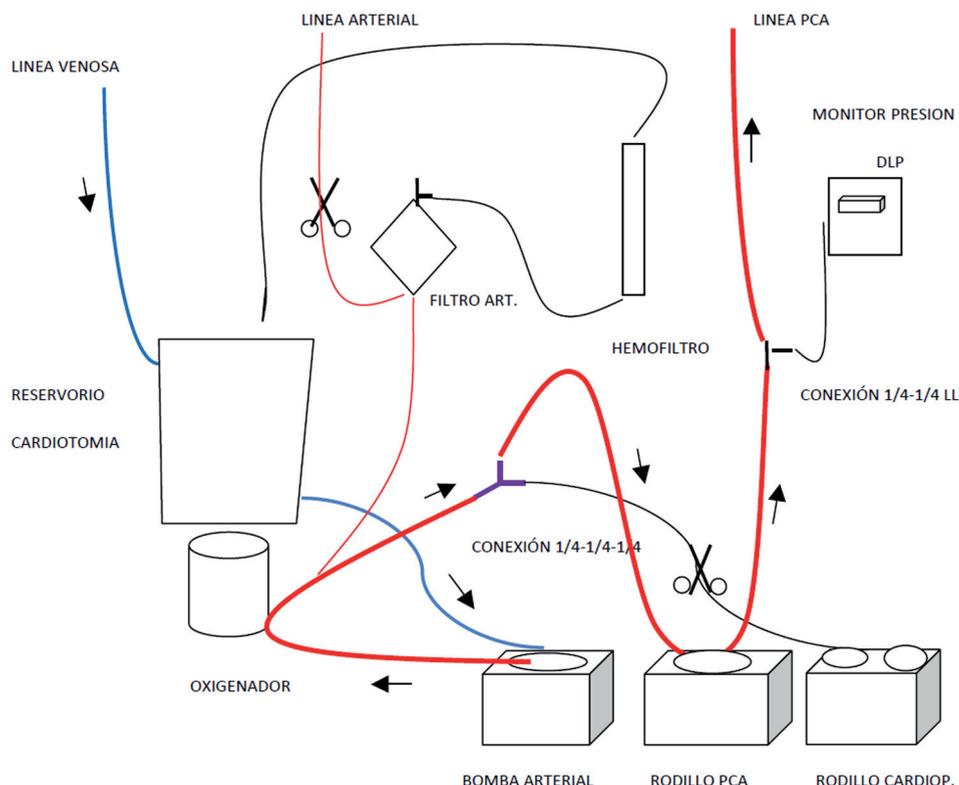
El montaje se realiza sin purgar la bomba y de manera estéril.

Cortamos la línea de cardioplejia y próxima a la salida del oxigenador colocamos un conector Y 1/4-1/4-1/4. De este conector en Y una línea quedará para la cardioplejia y otra para la PCA, donde conectaremos una línea que pasará por un rodillo hasta el campo quirúrgico.

En nuestro montaje de CEC usamos el rodillo para la hemofiltración como rodillo para la PCA, cambiando la hemofiltración de rodillo a presión pasando la línea de entrada del hemofiltro a la llave del filtro arterial o regleta de muestras.

A unos 15-20 cm de la salida del rodillo de PCA pondremos conector 1/4-1/4 con luerlock conectando un monitor de presión DLP® extra para la monitorización de la presión de perfusión cerebral, que se purgará previamente con jeringa de suero fisiológico o mediante un clamp después de la conexión cuando se cebe el circuito. Cebaremos la línea

Figura 1.



de PCA y de cardioplejia junto con el resto del circuito de CEC. Dejaremos clampada la línea de PCA hasta el momento de iniciar la PCA.

En el momento de iniciar la PCA, desclamparemos esta línea y clamparemos la línea de cardioplejia. (Figura 1)

La presión de perfusión de la PCA debe ser 25-30 mmHg debiendo sumar a ésta la resistencia del circuito que mediremos in vitro cuando purguemos la línea con la cánula al aire (al flujo teórico de PCA). (Presión de perfusión por una sola carótida.)

También se puede medir la presión de perfusión de la PCA mediante la presión de arteria radial derecha en el caso que se monitorice, no debiendo alcanzar cifras superiores a 50 mmHg. (Presión de perfusión para el tronco braquiocefálico.)

Monitorización hemodinámica y respiratoria habitual.

Es recomendable la monitorización de la presión arterial invasiva en arteria radial derecha.

Control de diuresis.

Control de tiempo de coagulación activado (TCA) habituales.

Monitorización específica:

- Función cerebral con BIS®. Nos proporciona una estimación de la actividad eléctrica cerebral, indicando el grado de hipnosis. Los valores deben mantenerse entre 40-60.
- Saturación regional de oxígeno (SrO₂) bilateral, INVOS de Somanetics®. Medición de la saturación regional de oxihemoglobina de forma incruenta. Los valores deben mantenerse entre 40-60. Evitar una disminución mayor del 20 % respecto a los valores basales.⁶ En caso de que sólo pueda ponerse un sensor debe colocarse en el lado izquierdo.
- Temperatura cerebral (timpánica o nasofaríngea). En nuestro caso monitorizamos la nasofaríngea.
- Temperatura sistémica (vesical o rectal). En nuestro caso monitorizamos la rectal. Ocasionalmente también monitorizamos la temperatura de retorno venoso.
- Control estricto de la glucemia. Cada 30 minutos y mantener valores inferiores a 150 mgr/dl.

Canulación arterial (aórtica, femoral o axilar, según proceda) y venosa, inserción de aguja de raíz aórtica y de catéter de retroplejia en seno coronario según procedimiento habitual y técnica quirúrgica prevista.

Entrada en circulación extracorpórea (CEC) e inducción a la hipotermia.

Hipotermia de inducción de superficie, para conseguir que la temperatura en el organismo sea más uniforme.⁵

Enfriamiento paulatino lento hasta estabilización de la temperatura cerebral alrededor de 18-20°C y de la temperatura sistémica entre 20-22°C.

Protección miocárdica según protocolo con cardioplejia hemática fría 4:1.

ANTES DE LA PARADA CIRCULATORIA TOTAL.

Mantener un entorno frío.

Utilizar un tiempo de enfriamiento antes de la PCT alrededor de 50 minutos.⁴

Evitar las soluciones de glucosa en el cebado de la bomba de CEC. (No forma parte de nuestro cebado.)

Metilprednisolona: 10 mg/Kg peso en el cebado de CEC.

Manitol 20 %: 2 ml/Kg peso en el cebado de CEC.

Es conveniente, antes de la PCT mantener niveles de Hematocrito entre 25 % y 30 %, ya que con este superávit de hemoglobina saturada, con este «reservorio adicional de oxígeno», damos potencialidad de extracción con cierta garantía para su consumo durante los periodos de PCT.⁵

DURANTE EL ENFRIAMIENTO

Hipotermia de inducción central, que enfría rápidamente los órganos internos.

Flujos de bomba ALTOS.

Cifras de Carbónico de 45-48 mmHg (Lectura de gases a 37°C según técnica alfa-stat), como dilatación a nivel cerebral.

Saturación venosa: 96-98 %.

Mantener un gradiente de temperatura entre el agua del intercambiador y la sangre inferior a 10°C, así como un gradiente de 2-4°C entre la temperatura cerebral y la sistémica.

La protección cerebral debe realizarse antes de la perfusión cerebral.

PARADA CIRCULATORIA TOTAL Y PERFUSIÓN CEREBRAL ANTERÓGRADA SELECTIVA

Colocación de bolsas de hielo alrededor de la cabeza. Fundamentalmente cuando la parada circulatoria exceda de los 20 minutos.¹

Colocación del paciente en posición de Trendelenburg, para evitar embolismo aéreo y/o microtrombos.

Administración de barbitúricos inmediatamente antes de la PCT. (Thiopental 5-10 mg/Kg iv) según BIS. Para disminuir las necesidades energéticas, reducir el edema cerebral y como antioxidante.²

Interrupción de la CEC.

Oclusión de la línea arterial.

Drenaje venoso continuo (línea venosa sin clampar).

Canulación de los troncos braquiocefálico y carótida izquierda, mediante cánulas de retroplejia (20 Fh para tronco braquiocefálico y 14 Fr para la carótida izquierda) y/o con cánulas específicas para perfusión cerebral anterógrada selectiva con línea detección de presión (TRUE FLOW RDB®).

Se debe realizar el cerclaje de las canulaciones para evitar la posible entrada de aire, la movilización de las cánulas y la pérdida de sangre hacia el campo quirúrgico con la consiguiente disminución de la visibilidad en el campo.

Inicio de la perfusión cerebral anterógrada:

- Flujos de 5 ml/Kgr/min por cada cánula si se realiza por cánulas distintas, una por tronco braquiocefálico y otra por carótida izquierda. Intentar alcanzar los 10 ml/Kgr/min con control de monitorización si se realiza por tronco braquiocefálico sólo. Especial atención en niños.
- Presión: 40-60 mmHg en arteria radial derecha; 25-30 mmHg en carótida izquierda.
- Teóricamente 10 ml/kgr/min para perfusión por dos carótidas.

En casos de PCA sólo por tronco braquiocefálico, comprobación de retorno de sangre por carótida izquierda y posterior oclusión.

Oclusión de arteria subclavia izquierda.

Importante durante la PCA: Tenemos que tener presente si la PCA la vamos a administrar con un solo rodillo utilizando en este caso el arterial (en casos de canulación axilar); o vamos a utilizar dos rodillos independientes, por una parte el arterial y por otra uno específico para la PCA. (Casos de canulación arterial aórtica o femoral.)

- Dejar abierta la línea venosa de cava SIN CLAMPAR.
- Si realizamos PCA con rodillos independientes, para evitar colapsar la membrana del oxigenador RECIRCULAR DE FORMA CONTINUA por el filtro arterial a un 20 % más de flujo con el rodillo arterial, que con el rodillo de PCA.
- Si realizamos PCA con el mismo rodillo arterial avanzando cánula hacia el tronco braquiocefálico, se realiza como en CEC normal pero con flujo bajo.
- En caso de administrar cardioplejía abrir también la recirculación oxigenador-saca y subir flujo de recirculación sumando el de cardioplejía.

Temperatura cerebral alrededor de 20° C con PCA y de 18° C si hay PCT, y temperatura sistémica entre 20-22° C.

La temperatura de la PCA nunca debe ser inferior a 16° C.

Control estricto de la SrO₂. (Somanetics®)

Control estricto del BIS®.

FÁRMACOS DURANTE LA PCT

Utilización de fármacos neuroprotectores para disminuir el impacto de la HP y de la PCT, disminuir las necesidades energéticas, reducir el edema cerebral y como antioxidantes. No existe una evidencia clínica que demuestre estos

efectos neuroprotectores durante la PCT, aunque se siguen utilizando con frecuencia.²

- Corticosteroides. Acción estabilizante de las membranas liposomiales, disminución del edema cerebral y como antiinflamatorio. Dosis: 10 mgr/Kg peso. Otros protocolos hablan de 500 mgrs 12 horas antes y 500 mgrs al inicio de la CEC e incluso de administrar justamente la totalidad de la dosis en el momento del clampaje.
- Manitol 20 %. Diurético osmótico, efecto vasodilatador y efecto antirradicales libres de oxígeno, reduce los requerimientos de oxígeno y modula el óxido nítrico plasmático.⁷ Dosis: 2 ml/Kg.
- Seroalbumina 20 %. Efecto coloidosmótico. Dosis: 100-150 ml.
- Insulina: su efecto beneficioso está condicionado al control de la hiperglucemia (empeora el daño cerebral y aumenta la posibilidad de lesiones neurológicas). Efecto neuroprotector cerebral y medular contra la isquemia y atenúa la acción inflamatoria de la glucosa.⁸ Especial atención en niños.

REINICIO DE CEC Y CALENTAMIENTO.

Cuando se completa la cirugía del arco aórtico, restablecer la CEC convencional.

Flujos de bomba altos durante el calentamiento.

Recalentamiento lento en quirófano, debe realizarse en un tiempo superior a 30 minutos.

Tan importante es una adecuada y uniforme hipotermia, como el seguir un celoso y meticoloso protocolo de recalentamiento durante el que se va a ver incrementado el consumo de oxígeno y junto a la deuda venosa metabólica acumulada de oxígeno, va a traer consigo una relativa baja mezcla de oxígeno. Un recalentamiento rápido nos puede llevar a una disminución significativa y sustancial de la resistencia vascular periférica al final del bypass y en el postoperatorio inmediato, pero también puede provocar microembolismos por una mayor liberación de microburbujas al disminuir el coeficiente de solubilidad de los gases en sangre a lo que habría que añadirle el posible recalentamiento de la sangre arterial.

Un recalentamiento lento y progresivo trae consigo un aumento de un 40 % en el consumo de O₂, lo que sugiere una mayor uniformidad en cuanto a la distribución de la temperatura en el organismo y además, evita de esta forma, el débito de O₂ y la gran producción de CO₂ al final del recalentamiento, lo que garantiza una perfusión más uniforme y un consumo de O₂ más regular, y por tanto, una mejor perfusión tisular, aunque sea a expensas de alargar el tiempo de CEC.

La HP y PCT traen consigo una gran multiplicidad de gradientes térmicos, por lo que un recalentamiento incom-

pleto puede traer consigo regiones mal perfundidas, trastornos metabólicos regionales, problemas microcirculatorios, hemodinámicas y de coagulación que podrían poner en una situación muy crítica al paciente en el postoperatorio inmediato.

Es importante llevar un gradiente de temperatura tanto para la inducción de la hipotermia como para el recalentamiento entre el esófago y el recto de alrededor de 2° C.⁵

Una vez alcanzada la normotermia, se inicia la salida de CEC.

PRECAUCIONES

La variedad de situaciones patológicas asociadas con el arco aórtico hacen que las estrategias quirúrgicas deban adaptarse a cada caso, sobre todo, el acceso de la canulación arterial y de la perfusión de los troncos supraaórticos.

El principal inconveniente de la perfusión cerebral anterógrada, tanto selectiva como bitroncal, es el riesgo de embolias cerebrales. Para evitar la embolización aérea, el sistema debe estar bien purgado, colocar al paciente en posición de Trendelenburg, realizar una canulación cuidadosa y una correcta desaireación tanto durante la canulación como su retirada antes de reiniciar la perfusión sistémica. La embolización de microtrombos puede ocurrir por las manipulaciones durante la canulación de los troncos supraaórticos. Si se produce un accidente por embolización, se deberá seguir el protocolo de Mills y Oschner.⁶ (Anexo IV)

En los últimos años, ha habido un creciente uso de perfusión cerebral selectiva a través de la arteria axilar derecha que permite no interrumpir el flujo sanguíneo cerebral, se puede lograr un intervalo de tiempo más corto de parada circulatoria y utilizar hipotermia moderada, con unos resultados de mortalidad aceptable y una incidencia baja de complicaciones neurológicas.⁹

Otro método de protección cerebral es mediante perfusión cerebral retrógrada, que consiste en el aporte de oxígeno al cerebro procedente de la línea arterial a través de la circulación retrógrada por la vena cava superior. Proporciona un aporte metabólico a los tejidos cerebral, renal y hepático, evitando los posibles embolismos y la expulsión de partículas a la circulación sistémica desprendidas durante la manipulación de la aorta. Es necesaria la monitorización continua de la presión en el golfo de la yugular derecha (25 mmHg) para prevenir el edema cerebral o un flujo insuficiente. En la actualidad existen muchas controversias sobre los beneficios reales de esta técnica.⁴ Su uso mejora los resultados de la parada si no se utiliza otra forma de perfusión cerebral y continúa siendo una técnica válida en la cirugía del arco aórtico. (Anexo V)

La perfusión cerebral anterógrada selectiva se ha demostrado que es un método seguro de protección cerebral

durante la parada circulatoria en hipotermia o aún en normotermia, debido a que minimiza el período de isquemia cerebral y reduce la incidencia de complicaciones neurológicas. Con sistemas de perfusión más perfeccionados y eficientes, es la técnica de elección en la cirugía del arco aórtico.

REFERENCIAS

1. Revuelta JM. Opciones técnicas en la cirugía de la aorta. En: Gomar C, Mata M^aT, Pomar JL. Fisiopatología y técnicas de circulación extracorpórea. 2^a ed. Majadahonda: Ed. Ergon; 2012. Pag. 499-506.
2. Josa M, González M. Hipotermia y perfusión cerebral anterógrada en la cirugía del arco aórtico. En: Gomar C, Mata M^aT, Pomar JL. Fisiopatología y técnicas de circulación extracorpórea. 2^a ed. Majadahonda: Ed. Ergon; 2012. Pag. 603-613.
3. Murtra M. La hipotermia en cirugía cardíaca. En: Gomar C, Mata M^aT, Pomar JL. Fisiopatología y técnicas de circulación extracorpórea. 2^a ed. Majadahonda: Ed. Ergon; 2012. Pag. 271-277.
4. Calvo M, Barreda P, Cayón P, García I, Zalduondo B. Evolución histórica de la protección cerebral en la cirugía de la aorta: Experiencia de 20 años. Rev. Española de Perfusión. 2006;41: 28-35.
5. Tocón C, Solís D, Caballero S, Tocón G, Vargas J, López S. Aplicación de la hipotermia profunda (HP) y parada circulatoria total (PCT) en neurocirugía pediátrica. Rev. Española de Perfusión. 2012;52:5-15.
6. Parada MA, Alonso R, Ramos M. Caso clínico de parada circulatoria con protección cerebral anterógrada mediante canulación de tronco innominado y carótida común izquierda desde cabeza de bomba. Rev. Española de Perfusión. 2010;49:22-24.
7. Vargas J, Risco R, López S, Juárez-Oropeza MA, Diza-Zagoya JC. Efecto del manitol sobre el curso temporal de las concentraciones de óxido nítrico plasmático, en pacientes pediátricos sometidos a corrección quirúrgica de sus cardiopatías. Rev. Latinoamer. Tec. Extracorp. 2007; XIV(4):11-16.
8. García C, Caballero S, Sánchez M^aJ. Protocolo de perfusión para control de glucemia en cirugía cardíaca bajo circulación extracorpórea. Rev. Española de Perfusión. 2009;47: 28-32.
9. Gutierrez HF. Canulación arterial axilar versus femoral para cirugía del arco aórtico. Fundación cardiointantil. Instituto de Cardiología. Universidad de Rosario. 2010. Bogotá.
10. Sánchez Y, González FJ, Molina O, Guil M. Guía para la elaboración de protocolos. Biblioteca Lascasas, 2011; 7(1). Disponible en <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0565.php>

Anexo I. Grados de Hipotermia

Hipotermia ligera o superficial	entre 32 y 35°C
Hipotermia moderada	entre 26 y 32°C
Hipotermia profunda	< 26°C
Hipotermia muy profunda	< 20°C

Anexo II. Períodos de seguridad neurológica y nivel de hipotermia²

Temperatura	Tiempo de seguridad neurológica (teórica)
32 °C	3 a 9 minutos
28°C	9 a 15 minutos
18°C	hasta 45 minutos

Anexo IV. Protocolo de embolismo aéreo de Mills y Ochsner

1. Posición del enfermo en Trendelenburg, corazón y cerebro más bajo que el resto del organismo lo que facilitará el desplazamiento del aire.
2. Retirada cánula aórtica y colocación en vena cava superior, perfusión retrograda hipotérmica 20°, 1-2 l/m durante 2 min. saliendo aire por la incisión de aorta.
3. Repetir procedimiento por vena cava inferior.
4. Reiniciar la CEC hipotérmica convencional durante 40 min.
5. Apoyo farmacológico. Vasopresores para mantener PA. altas. (60 mmHg). Barbitúricos 1-3 mg/Kg/h hasta un total de 10mg/Kg durante 2-4-48 horas. Metilprednisolona 2gr. o dexametasona 10mg.
6. Masaje del árbol coronario para intentar evacuar su aire.
7. Ventilación durante las primeras 6 horas del postoperatorio con FiO₂ al 100%, según evolución, manteniendo la respiración asistida mientras subsistan signos de edema cerebral.
8. Posibilidad de cámara hiperbárica.

Anexo V. Protocolo de perfusión cerebral retrógrada

Canulación de la vena cava superior.
Derivación de la línea arterial hacia la vena cava superior para la infusión arterial retrógrada.
Cierre de torniquetes de venas cavas y álgigos.
Inicio de perfusión retrógrada: Flujos: 200-300 ml/min Presión: 25-30 mm Hg Temperatura: 18 °C
Reparación del arco aórtico.
Eliminación de aire del arco.
Reinicio de perfusión sistémica.
Normalización del flujo.
Recalentamiento.

Anexo III. Protocolo de perfusión cerebral anterógrada con parada circulatoria total en hipotermia profunda para cirugía de arco aórtico. Hospital Universitario Virgen del Rocío. Servicio cirugía cardíaca.

Monitorización específica

Monitorización cerebral BIS®
Monitorización SrO₂. Somanetic®, en caso de que sólo pueda ponerse un sensor debe colocarse en el lado izquierdo.
Monitorización temperatura cerebral (timpánica o nasofaríngea) y sistémica (vesical o rectal)
Monitorización de la glucemia (cada 30 minutos) durante todo el procedimiento (mantener valores <150 mg/dl)

Durante el enfriamiento

Entrada en CEC e inducción a la hipotermia.
Flujos de bomba ALTOS
Cifras de Carbónico de 45-48 mmHg (Lectura de gases a 37°C según técnica alfa-stat).
Saturación venosa : 96-98 %
Estabilización de la temperatura cerebral alrededor de 18-20°C y de la temperatura sistémica entre 20-22°C.
Evitar gradiente de temperatura +/-2 °C entre la T^s sistémica y la T^s cerebral e inferior a 10 °C entre el agua del intercambiador y la sangre.

Antes de la Parada Circulatoria Total

Colocación de bolsas de hielo alrededor de la cabeza.
Posición del paciente en Trendelenburg.
Administración de Barbitúricos. (Thiopental 5-10 mg/Kg peso iv).

En Parada Circulatoria Total

Canulación de los troncos braquiocefálico y carótida izquierda.
Si se canula sólo el tronco braquiocefálico, comprobación de retorno de sangre por carótida izquierda y oclusión.
Oclusión de arteria subclavia izquierda.
Temperatura cerebral alrededor de 18-20°C y temperatura sistémica entre 20-22°C.
Drenaje venoso continuo.

Perfusión cerebral anterógrada

Flujos de 5 ml/Kg/min por cada cánula si se realiza por cánulas distintas.
Teóricamente 10 ml/kg para perfusión por dos carótidas
Presión: 40-60 mmHg en arteria radial derecha; 25-30 mmHg en carótida izquierda.
La temperatura de la PCA nunca debe ser inferior a 16°C.
Control estricto de la SrO₂. (Somanetics®)
Control estricto del BIS®. (valor = 0)
Control estricto de la temperatura cerebral.

Importante durante la PCA

Dejar abierta la línea venosa de cava SIN CLAMPAR.
Si realizamos PCA con rodillos independientes, para evitar colapsar la membrana del oxigenador RECIRCULAR DE FORMA CONTINUA por el filtro arterial a un 20 % más de flujo con el rodillo arterial, que con el rodillo de PCA.
En caso de administrar cardioplejía abrir también la recirculación oxigenadora y subir flujo de recirculación sumando el de cardioplejía.

Fármacos durante la PCT

Barbitúricos inmediatamente antes de la PCT. (Thiopental 5-10 mg/Kg iv) según BIS.
Corticosteroides : Dosis: 10 mgr/Kg peso.
Manitol 20 %: 2 ml/kg peso.
Seroalbumina 20%: 100-150 ml.

Reinicio de CEC y calentamiento

Flujos de bomba altos durante el calentamiento.
Recalentamiento lento en quirófano. Duración superior a 30 minutos.
Evitar gradiente de temperatura +/-2 °C entre la T^s sistémica y la T^s cerebral e inferior a 10 °C entre el agua del intercambiador y la sangre.