

Capítulo 3

CIRCULACIÓN EXTRACORPÓREA (CEC)

Extracorporeal Circulation (ECC)

Luis Fernando Vivas López

Universidad Santiago de Cali

Clínica de Occidente S.A.

© <https://orcid.org/0000-0001-9528-690X>

✉ luis.vivas02@usc.edu.co

Resumen

Teniendo en cuenta el avance en el manejo de los factores de riesgo para enfermedades cardiovasculares y la intervención de los programas de prevención y promoción de la salud en Colombia para reducir la morbimortalidad de la enfermedad coronaria, algunos de nuestros pacientes presentan mayor compromiso miocárdico, requiriendo ser llevados a cirugía de revascularización miocárdica para mejorar su calidad de vida. La circulación extracorpórea (CEC) tiene como objetivo principal suministrar sangre a los tejidos para cubrir las demandas metabólicas en todo momento, generando un proceso de oxigenación, intercambio gaseoso y difusión, considerado una oxigenación artificial. Igualmente, mantiene las constantes vitales del paciente durante las diferentes intervenciones

Cita este capítulo

Vivas López, L. F. (2024). Circulación extracorpórea (CEC). En: *Revascularización miocárdica: tópicos selectos para profesionales de la salud*, Tomo I: fundamentos teóricos y fisiopatológicos. Lozada Ramos, H; Daza Arana, J, E. (Editores científicos) (pp. 73-96). Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2024.

quirúrgicas en las que se realiza una parada cardíaca con protección miocárdica, utilizando un sistema de bombeo mecánico y un oxigenador artificial. Este procedimiento produce una serie de reacciones adversas o secundarias debido a la respuesta fisiológica y patológica de gran importancia sobre los elementos sanguíneos como hematíes, leucocitos, plaquetas, fenómenos embólicos, y la respuesta inflamatoria e inmunológica al contacto de la sangre con superficies no endoteliales, el cambio del flujo pulsátil y la liberación de citocinas. Para la realización de la CEC se deben tener en cuenta elementos como la purga del oxigenador, la hemodilución, la presión de perfusión, la heparinización, el manejo de la temperatura y la protección del miocardio durante la parada cardíaca. Todos estos elementos varían de acuerdo con la superficie corporal y las patologías basales del paciente, permitiendo individualizar y establecer una perfusión guiada por metas y objetivos

Palabras clave: circulación extracorpórea, perfusión, enfermería
(Fuente: MeSH).

Abstract

Considering the progress in the management of risk factors for cardiovascular disease and the intervention of prevention and health promotion programs in Colombia for the prevention of morbidity and mortality of coronary heart disease, some of our patients present greater myocardial compromise requiring to be taken to myocardial revascularization surgery. To improve the quality of life. Extracorporeal circulation (ECC), the main objective is to supply blood to the tissues to meet the metabolic demands at all times generated a process of oxygenation, gas exchange and diffusion, considered an artificial oxygenation. Maintaining the patient's vital signs in the different surgical interventions where a cardiac arrest is performed, with myocardial protection, in a mechanical pumping system, the use of an artificial oxygenator in a patient produces a series of adverse

reactions or secondary to the physiological response and pathological of great importance on the red blood cells, leukocytes, platelets, the embolic phenomena, the inflammatory and immunological response to the contact of blood with non-endothelial surfaces, the change in pulsatile flow and the release of cytosines. To carry out extracorporeal circulation, elements such as oxygenator purge, hemodilution, perfusion pressure, heparinization, temperature management, myocardial protection for cardiac arrest, and all these elements must be considered. They change according to the body surface and associated pathologies of the patient. And thus, be able to individualize and establish a perfusion guided by goals and objectives.

Keywords: extracorporeal circulation, perfusion, nursing (**Source:** MeSH).

Introducción

Los avances en el manejo de los factores de riesgo cardiovascular y los síndromes coronarios agudos han aumentado la supervivencia de los pacientes con enfermedad arterial coronaria. Sin embargo, la enfermedad coronaria todavía representa la primera causa de mortalidad en el mundo [1].

Existen factores de riesgo que predominan en la aparición de la enfermedad coronaria como el consumo de tabaco, la obesidad, el estrés, la diabetes, la hipertensión arterial y la dislipidemia. Estos son factores modificables que al ser intervenidos mejoran la sobrevida de las personas con enfermedad coronaria; pero existen pacientes de alto riesgo o con mayor compromiso miocárdico, en los cuales se requiere de intervención quirúrgica [1,2].

La evidencia actual ha establecido la cirugía de revascularización miocárdica (RVM) como un tratamiento efectivo para pacientes con síntomas de angina incapacitante. La RVM con puentes hechos de arteria mamaria interna, arteria radial y de vena safena, hacen

parte de la técnica quirúrgica en el tratamiento para mejorar el flujo coronario y la desaparición de los síntomas, generando cambios en la calidad de vida de los pacientes [2-4].

La circulación extracorpórea (CEC), como método de soporte en cirugía cardíaca, brinda la posibilidad de detener el latido cardíaco, mantener la circulación y la oxigenación periféricas al margen del corazón, mediante una bomba con un sistema de oxigenación durante el procedimiento quirúrgico. La CEC, es un procedimiento de alta complejidad y forma parte del tratamiento estándar en el cuidado perioperatoria de los pacientes que requieren de cirugía cardíaca [3]. Por lo tanto, el presente documento apunta particularmente a resumir la base científica de los diversos aspectos de la técnica de CEC en la cirugía cardíaca.

Descripción de la circulación extracorpórea (cec)

La CEC se puede definir como un procedimiento en el que la sangre se drena de la circulación interna del paciente, vena cava superior y vena cava inferior a un reservorio, se traslada a un sistema de tubería artificial externo al cuerpo del paciente, y luego pasa por una membrana, se oxigena y retorna al sistema circulatorio de nuevo por la línea arterial [3,5].

Existen diversos procedimientos asociados a un CEC, unos de los más frecuentes son la hemodiálisis, la plasmaféresis, la membrana extracorpórea para oxigenación y la derivación cardiopulmonar durante cirugía cardiovascular. Los mismos principios básicos se podrían aplicar a todos estos métodos, pero la extensión de su uso en el tiempo, las condiciones del paciente y los elementos utilizados le suman complejidad a dichos procedimientos [3].

La CEC utilizada para la derivación cardiopulmonar en cirugía cardíaca, mediante el uso de la máquina corazón-pulmón (conocida como bomba), es sin duda uno de los procedimientos más complejos.

Cabe mencionar que el principal propósito del sistema cardiovascular es suministrar oxígeno a los tejidos, para lograr satisfacer sus requerimientos metabólicos, utilizando la sangre como su medio de transporte. Durante la CEC este intercambio de gases se efectúa con un dispositivo de oxigenación artificial llamado oxigenador [3, 4,6].

Los sistemas utilizados para la CEC se han denominado de varias formas a lo largo de la historia; el término más utilizado es oxigenador de sangre, los cuales no solo tienen propiedades para aportar oxígeno a la sangre, sino que también eliminan el exceso de dióxido de carbono, producto del metabolismo celular. El desarrollo de la CEC ha sido importante en el progreso de la cirugía cardíaca. El inicio de la CEC se remonta al año de 1885, con la construcción de una máquina que permitía oxigenar la sangre. Fue en 1937, cuando el norteamericano Jhon Gibbon realizó la primera derivación cardiopulmonar, drenando la sangre desde las venas cava superior e inferior a un oxigenador, la cual retornaba a la aorta ya oxigenada. Todo este desarrollo fue posible gracias al descubrimiento de la diferenciación de los grupos sanguíneos, la heparina como anticoagulante y a las técnicas de evaluación de la anatomía coronaria, entre otros [3].

La posibilidad de derivar sangre fuera del corazón desde el sistema venoso, y retornar sangre oxigenada directamente al sistema arterial, ha permitido ampliar las posibilidades de intervenciones quirúrgicas cardíacas y no cardíacas; por ejemplo, ha permitido el abordaje quirúrgico de enfermedades complejas, como la corrección de aneurismas aórticos torácicos, la resección del carcinoma de células renales, el tratamiento de aneurismas neurobasilares, el trasplante de pulmón y la trombo endarterectomía de las arterias pulmonares [1,3,7].

Entre los avances más importantes en el desarrollo de la CEC, se destaca el desarrollo tecnológico de los sistemas empleados en este procedimiento, como las membranas para oxigenación, que cada

vez son más pequeñas, eficientes y de materiales con mayor bio compatibilidad, que permiten brindar mayor seguridad a los pacientes durante el procedimiento [2,8].

Sin embargo, al ser una técnica invasiva, esta puede desencadenar varios efectos indeseables, algunos predecibles y prevenibles; pero otros impredecibles, que pueden generar lesión de diversos órganos, aumentando significativamente los costos de la atención en salud, estancias hospitalarias prolongadas y mayor mortalidad.

La CEC es uno de los métodos utilizados en la RVM, y su uso puede asociarse con el desarrollo de eventos adversos que, si bien no son comunes (<2 %), pueden ocasionar hasta 70 % de aumento en la mortalidad [5].

Fisiología Aplicada a la CEC

En la CEC para cirugía cardiovascular, la oxigenación se da de forma artificial. En este proceso existe una variación en la relación de los gradientes de concentración de oxígeno y dióxido de carbono, pero su interacción guarda los mismos principios químicos [1].

La cirugía cardíaca y la CEC inducen la activación de respuesta inflamatoria, caracterizada por alteraciones en múltiples órganos. La respuesta inflamatoria puede ser iniciada durante el acto quirúrgico por procesos como el contacto de la sangre con el sistema de derivación cardiopulmonar y la membrana de oxigenación, y por el desarrollo de isquemia y liberación de endotoxinas [8,9]. Además de los procesos ya mencionados, existen otros factores que influyen en los cambios fisiológicos durante la cirugía cardíaca con CEC. Entre los cambios fisiológicos, se puede destacar:

Tabla 3. 1 Cambios fisiológicos durante la cirugía cardíaca con CEC

Cambios fisiológicos durante la cirugía cardíaca con CEC
a. La pérdida de la superficie endotelial y contacto con diversos materiales sintéticos.
b. La pérdida del flujo pulsátil y un sistema de bombeo con flujos continuos.
c. El contacto aire-sangre en los circuitos.
d. La hematosi realizada a través de membranas microporosas.
e. La dilución al integrar el cebador a la circulación sistémica.
Las variaciones térmicas cercanas al intercambio gaseoso, entre otros

Fuente: elaboración propia.

Estos son inconvenientes propios de la técnica de CEC [9]. Por estas condiciones, se hace necesaria la implementación de técnicas de hemodilución, para disminuir la concentración de células circundantes y cambios metabólicos relacionados con la hipotermia sistémica inducida. Estas condiciones, propias de la CEC, afectan la fisiología del proceso de oxigenación celular, principalmente la hemodilución, pues reduce la concentración de hemoglobina, lo que afecta el transporte de oxígeno. Los diferentes grados de temperatura: normotermia, hipotermia leve, moderada y severa, reducen las necesidades de oxígeno hasta un 50 %, con temperaturas entre 36 y 20 grados centígrados. Durante el enfriamiento, disminuye la producción de dióxido de carbono y aumenta su solubilidad, siendo este transportado principalmente en forma líquida y una pequeña parte combinado con la hemoglobina, formando carboxihemoglobina. Esto se debe a que la disolución de un gas es inversamente proporcional a la temperatura (Ley de Henry) [1,10,11].

Una complicación asociada a la respuesta inflamatoria es el síndrome de falla orgánica múltiple, generando cambios que se sobrepone

a la respuesta fisiológica normal después de la exacerbación de la respuesta inflamatoria. Esta es una complicación frecuente, que incluye la insuficiencia respiratoria, el choque y la insuficiencia renal [10,11]. Otros factores, como el sistema de flujo continuo (no pulsátil) y la respuesta inflamatoria sistémica, pueden generar una vasoconstricción excesiva, lo que permite un aumento de actividad metabólica dependiente de flujo [9].

Complicaciones Asociadas a la CEC

La cirugía y las técnicas anestésicas han estado en continuo avance, sin embargo, la cirugía cardíaca es un procedimiento que conlleva diversas complicaciones posoperatorias [12]. A pesar de los cambios que ha tenido la CEC en la utilización de nuevas técnicas quirúrgicas y los mecanismos de seguridad que ofrecen los diferentes dispositivos, las alteraciones en la fisiología de algunos órganos vitales aún continúan evidenciándose, lo que lleva a complicaciones secundarias al procedimiento [13,14].

Los pacientes que desarrollan disfunción o falla orgánica después de una cirugía de corazón con CEC, pueden presentar encefalopatías, infección de sitio operatorio (esternotomía) o injuria renal aguda [9]. Dentro de estas complicaciones juega un papel importante el deterioro de la función renal, llamada injuria renal aguda (IRA), la cual es uno de los eventos más serios y frecuentes, a pesar de la existencia de estudios diagnósticos complementarios y pruebas bioquímicas para definir las posibles alteraciones en la función renal de los pacientes en forma temprana [15].

Es posible que la IRA durante la CEC se deba a cambios en la perfusión renal durante los períodos de hipotensión, o bien, por bajo riego sanguíneo, vasoconstricción o microembolismo. Así mismo, la hemoglobinuria podría también ocasionar disfunción renal significativa como resultado de la hemólisis durante la CEC [16].

La hipotensión intraoperatoria sostenida (PAM < 50 mmHg), la hemodilución severa (niveles de hematocrito inferiores al 24 %) y los periodos sostenidos de desaturación e hipotermia, son complicaciones que conllevan un bajo aporte de oxígeno renal durante la cirugía cardíaca y aumentan el riesgo de IRA. Se debe tener en cuenta que la transfusión de hemoderivados, principalmente glóbulos rojos, expone al paciente a un mayor riesgo de IRA por depósito de pigmentos, que no es más que el acúmulo de hemoglobina y mioglobina a nivel tubular [16,17].

La encefalopatía post-CEC es también una complicación frecuente en pacientes de cirugía cardiovascular. Se cree que esta complicación ocurre por perfusión no fisiológica, microembolismos y, finalmente, por la reacción inflamatoria *per se*. Durante la CEC se encuentra un cambio abrupto hemodinámico completo, en el cual se modifica de forma cualitativa y cuantitativa la circulación de la sangre a través de los cambios en la morfología de las ondas de presión. De hecho, el cambio de un flujo normal pulsátil a un flujo continuo durante la circulación extracorpórea genera efecto sobre la circulación sanguínea cerebral [9,18,19].

El contacto de la sangre con las superficies extrañas, como el sistema de CEC, conlleva también a una activación de las plaquetas con la formación de un agregado plaquetario y la consecuente trombocitopenia. La formación de agregados plaquetarios sucede en conjunto con la liberación de aminas vasoactivas, las cuales no solamente producen una vasoconstricción, sino también favorecen la producción de los agregados plaquetarios y su fijación, lo que puede producir micro embolizaciones hacia los diferentes órganos [9,19].

Aún se desconocen muchos procesos de autorregulación del flujo sanguíneo cerebral, pero se sabe que el cerebro en un estado fisiológico normal que se mantiene en adecuado funcionamiento, a pesar de las grandes variaciones en la presión de perfusión cerebral. El principal mecanismo de protección del cerebro ante los cambios bruscos de la

presión de perfusión cerebral se debe a la respuesta vascular activa, la cual da como resultado una constricción arteriolar ante el aumento de la presión arterial, y una dilatación arteriolar ante una caída de la presión [6,18,19].

Así mismo, la hipertensión arterial en el preoperatorio se comporta como un factor que puede influir en los cambios de la circulación cerebral, afectando su autorregulación. Algunos autores consideran que cambios en la autorregulación, presentes en los pacientes hipertensos, hacen necesarias presiones de perfusión más elevadas en estos pacientes durante la CEC [2].

Por otra parte, en los pacientes diabéticos insulino dependientes se han demostrado cambios en la relación del flujo y el metabolismo durante la CEC, con un elevado consumo de oxígeno, a pesar de una constante circulación cerebral, la cual no alcanza a compensar las demandas metabólicas del cerebro [2].

Los pulmones manifiestan frecuentemente una alteración en su circulación sanguínea durante la CEC. La mecánica pulmonar postoperatoria alterada y el intercambio de gases deteriorado, contribuyen a las complicaciones pulmonares después del uso de la CEC, cuyas manifestaciones varían desde hipoxemia y atelectasia hasta lesión pulmonar aguda, insuficiencia respiratoria y síndrome de dificultad respiratoria aguda. La CEC ocasiona cambios en los pulmones, los cuales se diferencian de los cambios observados en pacientes sometidos a otras intervenciones quirúrgicas. El parénquima pulmonar de pacientes post-CEC puede presentar desde edemas intersticiales apenas identificables, hasta edema pulmonar hemorrágico fatal [5,10]. Un aumento en el agua extravascular pulmonar se encuentra frecuentemente en los pulmones post-CEC. Las colecciones líquidas intersticiales ocasionan una “compliance” pulmonar disminuida, aumento del trabajo respiratorio, incremento en el tiempo de ventilación mecánica y acrecentamiento del riesgo de neumonía [9,20].

Algunos autores no han encontrado una relación directa entre el aumento de agua extravascular pulmonar y las variaciones hemodinámicas. Se han presentado evidencias que explican cómo una respuesta inflamatoria exacerbada está relacionada con la activación de mediadores a través de la CEC. Este mecanismo complejo puede estar explicado por la activación de la cascada de coagulación y el sistema de complemento, con la producción de bradiquinina y una posible influencia de IL-1, IL-6 e IL-8 [9,11].

Otros elementos asociados a las complicaciones son los factores ligados a la cirugía, incluida la paresia hemidiafragmática que conduce a atelectasia, el dolor de la herida esternal, drenajes quirúrgicos y los derrames pleurales residuales, que contribuyen al riesgo pulmonar adicional después de la derivación cardiopulmonar y la cirugía cardíaca [1,21].

El sangrado postoperatorio es causado por la disfunción de plaquetas y la respuesta inflamatoria. Por otra parte, las soluciones cristaloides que se utilizan para purgar la bomba extracorpórea ocasionan hemodilución, mientras que la turbulencia y la presión osmótica durante la CEC causan lesiones en la membrana celular de los eritrocitos y hemólisis [8,9].

Rol del Perfusionista en la CEC

Los perfusionistas son profesionales de enfermería, especialistas en perfusión y CEC, quienes proporcionan, dentro de la sala de cirugía, los cuidados asistenciales necesarios para mantener y controlar la homeostasis del paciente durante una intervención quirúrgica, mediante una adecuada circulación sanguínea y oxigenación [22,23].

Durante las cirugías cardiovasculares se hace necesario reemplazar las funciones cardiopulmonares debido a la parada cardíaca, como lo son el mantenimiento de la perfusión de todos los órganos, el manejo de la temperatura, el equilibrio ácido básico y la función

metabólica, proporcionando así el proceso de la CEC. Razón por la cual, los perfusionistas deberán mantener una continua formación y entrenamiento, de manera que estén en capacidad de brindar cuidado en cualquier tipo de procedimiento cardiovascular, tanto como de las respectivas complicaciones que puedan surgir [22,24].

Para el ejercicio de la perfusión extracorpórea, es preciso el conocimiento de muchas disciplinas científicas que nutren y configuran el saber de la perfusión, por lo tanto, los enfermeros perfusionistas deben prepararse a través de una formación específica, que en la actualidad solo se adquiere mediante la formación de postgrado. El perfusionista como agente de salud debe desarrollar un récord de práctica clínica, cumpliendo con altos procesos de calidad y seguridad, para garantizar la calidad de atención de personas que requieren de soporte con CEC.

Dentro de las actividades desarrolladas por el perfusionista en la RVM se encuentran las siguientes:

Valoración Preoperatoria

Para proporcionar unos cuidados adecuados durante la CEC es imprescindible la evaluación del estado de salud del paciente antes de la realización del procedimiento quirúrgico. La evaluación del paciente en el preoperatorio debe ser realizada por lo menos una semana antes del procedimiento quirúrgico. Durante esta valoración se revisan exámenes de laboratorio, pruebas diagnósticas y la aplicación del protocolo preoperatorio de paciente de cirugía cardiovascular, y se establece la participación de otros miembros del equipo multidisciplinario, medicina interna, odontología, nutrición y dietética e infectología, si se amerita.

Es imprescindible el uso de formatos estandarizados que permitan sistematizar el proceso de valoración preoperatoria, que refleje al menos, los siguientes datos:

Tabla 3. 2. Valoración preoperatoria

Valoración preoperatoria:
Edad del paciente.
a. Peso.
b. Talla.
c. Comorbilidades: diabetes, hipertensión arterial, dislipidemia, cirugías previas, antecedentes neurológicos, funcionalidad renal y hepática, entre otros.
d. Historial de alergias.
e. Tratamiento farmacológico actual.
f. Estudios de laboratorio recientes: hemoglobina, hematocrito, recuento plaquetario, perfil tiroideo, hepático y renal, glucosa, hemoglobina glicosilada, PCR, potasio, sodio, tiempos de coagulación, hemoclasificación y reserva de hemoderivados, de acuerdo con el procedimiento.
g. Estudio de anatomía cardíaca: ecocardiograma, coronariografía.

Fuente: Elaboración propia.

Monitoreo en CEC

Uno de los pilares en el cuidado perioperatorio de los pacientes que se someterán a cirugía cardiovascular con CEC es la monitorización cardiovascular estricta y continua, debido a las alteraciones hemodinámicas que puede presentar el paciente. Estos cambios hemodinámicos se deben a los fármacos anestésicos que recibe el paciente, las condiciones no fisiológicas ligadas a la CEC y a las comorbilidades asociadas a la patología cardiovascular por la cual se indica el procedimiento quirúrgico [2,24].

Por lo tanto, para conocer la funcionalidad cardiovascular y el estado hemodinámico del paciente, es necesario disponer de datos

sobre la actividad cardíaca, la presión arterial, el gasto cardíaco y diuresis, entre otros. La monitorización debe englobar otras constantes vitales que pueden estar afectadas por la anestesia, como la función neurológica, frecuencia respiratoria y el control de temperatura. Además, se deben monitorizar variables relacionadas con los cambios fisiológicos asociados a la técnica de CEC, como tiempo de coagulación (tiempo activado de coagulación - ACT), gasometría arterial, glucosa en sangre, niveles de hemoglobina y hematocrito [2].

Conducción de la CEC

Dentro del protocolo de la instauración de la CEC se hace necesario, con previa revisión de la historia clínica del paciente, seleccionar las estrategias que se utilizarán durante la cirugía cardíaca, considerando las comorbilidades asociadas y el tipo de procedimiento a realizar [2,24]. Esto se describe en los siguientes pasos:

- Seleccionar el oxigenador y la membrana de acuerdo con el peso, la talla y el índice de superficie corporal.
- Probar el oxigenador y la membrana conectando al intercambiador de temperatura, y recircular para comprobar fugas de agua.
- Cebear el circuito una vez el paciente esté monitorizado e invadido: línea arterial, tubo orotraqueal, catéter central y catéter de termodilución, si lo amerita.
- Calibrar y medir la oclusión de la bomba si es de rodillo
- Pasar y conectar, conservando la técnica de esterilización, las líneas arteriovenosas y los aspiradores de campo raíz aórtica.
- Recircular el primado, desburbujar y deairear el circuito extracorpóreo a una temperatura de 36 grados centígrados.

- Una vez el paciente sea canulado se deben cerrar todas las recirculaciones del circuito, parar la bomba de rodillo o pinzar la línea arterial antes del filtro, si la bomba es centrífuga, y pinzar la línea venosa.
- Adicionar medicamentos (sedantes, relajante muscular, antifibrinolítico, sulfato de magnesio, albúmina, bicarbonato de sodio y heparina).
- Por orden del cirujano se anticoagula al paciente con heparina sódica a 4 mg por kilogramos de peso, se registra la hora y se cuentan 5 minutos para hacer el control de ACT, y cuando este se encuentre por encima de 200 segundos se encienden los aspiradores de pericardio.
- Iniciar la aspiración del pericardio una vez el ACT sea mayor de 200 segundos; si está por debajo de esta cifra, se adicionará una dosis sistémica de heparina equivalente a 100 U/kg, y se repetirá ACT a los 3 minutos. Si una vez iniciada la CEC continúa el ACT por debajo de 450 segundos, se adicionará plasma fresco congelado.
- Cuando se cánula la aorta del paciente se verifica que la presión de la aorta se encuentre dentro de los parámetros.
- Registrar en la hoja de perfusión los parámetros hemodinámicos basales del paciente.
- Se da inicio a la CEC cuando el cirujano lo indique y se tenga un ACT > 480 segundos.
- Cuando se inicia la CEC se debe ir aumentando el flujo de manera gradual hasta llegar a flujo total.
- Mantener la temperatura del perfusado o de la purga en 36 grados centígrados para iniciar la CEC, y modificarla de acuerdo con la orden del cirujano.

- Abrir la recirculación del filtro arterial y controlar la presión del circuito durante toda la perfusión, la cual no debe exceder los 150 mmHg para canulación central y 250 mmHg para canulación femoral, pues un aumento en la presión del circuito puede indicar angulación en la línea arterial o una posible disección aórtica.
- Mantener la presión arterial media por encima de 60 mmHg, y en pacientes con enfermedad cerebro vascular o ancianos por encima de 70 mmHg.
- Cuando se tenga resistencias vasculares sistémicas altas (> 1600 dinas/seg/m²) se administrará nitroprusiato de sodio (50 mg en 250 CC de dextrosa al 5 % o 250 CC de solución salina por bomba de infusión, si el paciente es diabético).
- Mantener un gasto cardíaco entre 2.4-2.5 L/min. en normotermia, y modificar de acuerdo con la temperatura en la que se vaya a manejar el paciente.
- Para el pinzamiento aórtico se debe disminuir el flujo arterial a 0.5 del índice cardíaco para disminuir la presión arterial del paciente y evitar daño en la aorta. Activar el cronómetro para medir tiempo de pinza, una vez se haya pinzado la aorta, se debe incrementar el flujo de acuerdo con las metas planteadas para el manejo del paciente, teniendo en cuenta la temperatura.
- Iniciar la protección miocárdica con la solución de cardioplejia solicitada por el cirujano, la cual se debe dar así: en raíz aórtica la presión no debe exceder 140 mmHg, ostia coronaria 40-60 mmHg, seno venoso 40 mmHg.
- El perfusionista llevará a cabo los ajustes en la conducción del CEC de acuerdo con el comportamiento del paciente, la temperatura y los parámetros de control durante la bomba, como son: la presión de perfusión, la resistencia vascular sistémica, el flujo

de bomba, el ACT, la gasometría, entre otros, de común acuerdo con el anestesiólogo.

- La evaluación de la conducción de la perfusión se llevará a cabo mediante los parámetros de control en CEC de la siguiente manera:

Tabla 3. 3. Parámetros de control en CEC

Parámetros de control.	a. A los 15 minutos de iniciada la CEC se hará un control de ACT, gases venosos con hemoglobina / hematocrito, y con estos datos se hará la calibración del sensor de saturación para obtener SvO ₂ y hemoglobina/ hematocrito en línea.
	b. A los 30 minutos de iniciada la CEC, controlar ACT y gases arteriales con hemoglobina/ hematocrito, glucometría y lactato.
	c. A los 60 minutos controlar ACT, hemoglobina / hematocrito, glucometría y gases arteriales con lactato, o antes si se amerita con la conducción de la CEC.

Fuente: elaboración propia.

- Se iniciará el calentamiento del paciente cuando el cirujano lo indique, teniendo en cuenta aumentar el flujo de bomba y la FIO₂, a la vez que se realizará un calentamiento progresivo manteniendo los gradientes de temperatura entre el perfusado, la temperatura nasofaríngea y rectal por debajo de 3 grados entre una y otra.
- Una vez terminada la reparación quirúrgica se procederá a despinzar la aorta, teniendo en cuenta bajar el flujo de bomba

antes de despinzar la aorta y retornar al flujo correspondiente según la temperatura.

- Después de despinzar la aorta, administrar 2 gramos de sulfato de magnesio de acuerdo con el peso del paciente, de manera muy lenta para evitar vasodilatación, y 2 miligramos de lidocaína simple al 2 % de acuerdo con el peso del paciente.
- Cuando el paciente se encuentre estable y no presente sangrado importante en los sitios de las anastomosis, considerar el inicio del destete de la CEC, de común acuerdo con el equipo quirúrgico, previa evaluación de los siguientes parámetros:
 - a. Evaluar la precarga y postcarga.
 - b. Alcanzar la temperatura nasofaríngea y rectal de 36.5 grados centígrados.
 - c. Presión arterial sistólica mínima de 70 mmHg.
 - d. Frecuencia cardíaca entre 70-100 latidos/min.
 - e. Ritmo cardíaco sinusal.
 - f. Gasometría normal.
 - g. Evaluación de las presiones de llenado y respuesta al reto de volumen.
 - Si el paciente cumple con todos los parámetros anteriormente descritos se procederá a cerrar todas las recirculaciones del circuito y se iniciará el pinzamiento gradual de la línea venosa, la disminución del flujo de bomba y de la aspiración de la raíz aórtica.
 - Si se utilizó drenaje venoso asistido con vacío deberá despinzarse lentamente la línea de vacío antes de iniciar el pinzamiento de la línea venosa para llenar el corazón.

- Se parará la bomba y se pinzarán la línea venosa y luego la arterial.
- Una vez finalizada la CEC, recibir todo el volumen que quedó en la línea venosa, despinzándola para ser reinfundido al paciente antes de la decanulación, teniendo en cuenta la respuesta hemodinámica al volumen.
- Se pasa a revertir la heparina sódica con protamina en proporción 1 a 1.
- Por parte del anestesiólogo, se realiza prueba de protamina, se evalúa el estado hemodinámico del paciente, y si no presenta cambios como hipotensión severa, se continuará con la dosis de protamina.
- Se para la aspiración del pericardio una vez se haya infundido al paciente el 50 % de la dosis de protamina que la notifica el anestesiólogo.
- Revisar el registro de perfusión para verificar que estén diligenciados todos los datos del paciente y estén registrados todos los parámetros medidos durante el tiempo que el paciente permaneció en la CEC.
- Recibir las líneas a la instrumentadora y desarmar el circuito una vez se haya iniciado el cierre del esternón del paciente.
- Desechar el oxigenador y los circuitos con el protocolo de manejo de material contaminado.

Parámetros de calidad a evaluar durante la CEC:

- a. Gasometría.
- b. Presión arterial media.
- c. Flujo de bomba.
- d. Resistencias vasculares sistémicas.

- e. Saturación venosa de oxígeno.
- f. Bicarbonato de sodio.
- g. ACT (tiempo de coagulación activado).
- h. Hematocrito.
- i. Temperaturas (nasal, rectal).
- j. Volumen urinario.
- k. Lactato sérico.
- l. Glucometrías.

Conclusiones

La invención de la CEC revolucionó la historia de la cirugía cardiovascular. Los avances tecnológicos en el uso de nuevos materiales y en aspectos técnicos de la CEC permiten que este sea un procedimiento seguro y confiable para el manejo de los pacientes quirúrgicos. Los excelentes resultados clínicos del paciente dependen del trabajo del equipo multidisciplinar y la experiencia del perfusionista. Para esto, es imperativo que el perfusionista, además de aprender las habilidades y destrezas necesarias para realizar CEC, desarrolle también procesos investigativos que le permitan conocer las evidencias actualizadas sobre la CEC.

Los avances en los últimos años en las diferentes técnicas quirúrgicas, la optimización del paciente en el preoperatorio y el manejo de los pacientes en las unidades de cuidado intensivo durante el postoperatorio, han permitido garantizar el éxito en la intervención quirúrgica cardíaca y el manejo de los pacientes. En este proceso, el perfusionista desempeña un rol primordial en el cuidado perioperatorio de cirugía, poniendo al servicio del paciente todo su conocimiento y experiencia para asegurar la calidad de atención de personas que requieren de soporte con CEC.

Referencias Bibliográficas

1. Valenzuela-Flores AG, Valenzuela-Flores AA, Ortega-Ramírez JA, Penagos-Paniagua M, Pérez-Campos JP. Alteraciones fisiopatológicas secundarias a circulación extracorpórea en cirugía cardíaca. *Cir Ciruj*. 2005;73: 143–9. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/circir/cc-2005/cc052n.pdf>
2. Kunst G, Milojevic M, Boer C, Somer FMJJ De, Gudbjartsson T, Goor J van den, et al. Guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery. *Br J Anaesth*. 2019;1–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.09.012>
3. Hessel EA. History of Cardiopulmonary Bypass (CPB). *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* [Internet].2015; DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpa.2015.04.006>
4. Hessel EA. What’s New in Cardiopulmonary Bypass. *J Cardiothorac Vasc Anesth* [Internet]. 2019;33(8):2296–326. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.01.039>
5. Shroyer AL, Hattler B, Wagner TH, Collins JF, Baltz JH, Quin JA, et al. Five-Year Outcomes after On-Pump and Off-Pump Coronary-Artery Bypass. *N Engl J Med*. 2017; 377(7):623–32. Disponible en: <https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMoal614341?articleTools=true>
6. Anastasiadis K, Antonitsis P, Deliopoulos A, Argiriadou H. A multidisciplinary perioperative strategy for attaining “more physiologic” cardiac surgery. *Perfusion*. 2017; 32(6):446 –453. DOI: <https://doi.org/10.1177/0267659117700488>
7. dos Reis Freitas, Lara Morgana, Lia Pinto Cunha Borges dos Santos, and Jeffchandler Belém De Oliveira. Circulação extracorpórea e desequilíbrio hidroeletrólítico/Extracorporeal circulation

and hydroelectrolytic imbalance/Circulación extracorpórea y desequilibrio electrolítico. JOURNAL HEALTH NPEPS 2.1 (2017): 285-297. Disponible en: https://web.archive.org/web/20180423163137id_/https://periodicos.unemat.br/index.php/jhnpeps/article/viewFile/1753/1677

8. Arias HDC. Lactate in extracorporeal circulation: myths and facts. ENBOMBA. 2018; 2(1):10-5. Disponible en: <https://www.asociacionalap.com/resources/Documents/Articulo%20Dr.%20Castro%20%20Rev.%20EnBomba.pdf>
9. Kraft F, Schmidt C, Aken H Van, Zarbock A. Inflammatory response and extracorporeal circulation. Best Pract Res Clin Anaesthesiol. 2015; 29:113-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2015.03.001>
10. Chiarenza F, Tsoutsouras T, Cassisi C, Santonocito C, Gerry S, Astuto M, et al. The Effects of On-Pump and Off-Pump Coronary Artery Bypass Surgery on Respiratory Function in the Early Postoperative Period. J Intensive Care Med. 2019;34(2):126-32. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F0885066617696852>
11. Baikoussis NG, Papakonstantinou NA, Verra C, Kakouris G, Chounti M, Hountis P, et al. Mechanisms of oxidative stress and myocardial protection during open - heart surgery. Ann Card Anaesth. 2015;18(4):555-64. DOI: <https://dx.doi.org/10.4103%2F0971-9784.166465>
12. Borracci, Raul A., Julio Macias Miranda, and Carlos A. Ingino. Transient acute kidney injury after cardiac surgery does not independently affect postoperative outcomes. Journal of cardiac surgery 33.11 (2018): 727-733. DOI: <https://doi.org/10.1111/jocs.13935>
13. Alshaikh HN, Katz NM, Gani F, Nagarajan N, Canner JK, Kacker

- S, et al. Financial Impact of Acute Kidney Injury After Cardiac Operations in the United States. *Ann Thorac Surg.* 2017;1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2017.10.053>
14. Bolliger D, Mauermann E. Renal Angina: A New Paradigm for the Prevention of Acute Kidney Injury After Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2018; 1-3. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2018.09.030>
15. Hoste, Eric AJ, and Wim Vandenberghe. Epidemiology of cardiac surgery-associated acute kidney injury. *Best practice & research Clinical Anaesthesiology* 31.3 (2017): 299-303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2017.11.001>
16. Meersch M, Zarbock A. Prevention of cardiac surgery-associated acute kidney injury. *Curr Opin.* 2017;30(1):76-83. DOI: <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000000392>
17. Lannemyr L, Bragadottir G, Krumbholz V, Redfors B, Sellgren J, Ricksten S-E. Effects of Cardiopulmonary Bypass on Renal Perfusion, Filtration, and Oxygenation in Patients Undergoing Cardiac Surgery. *Anesthesiology.* 2017;126(2):205-13. DOI: <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000001461>
18. Imura H, Maruyama Y, Shirakawa M, Nitta T. Impact of Perioperative Management for Intracranial Arterial Stenosis on Postoperative Stroke Incidence in Coronary Artery Bypass Surgery: A Propensity Matching and Multivariate Analyses. *Surg Sci.* 2018;9: 311-24. Disponible en: https://www.scirp.org/pdf/SS_2018092714580347.pdf
19. Ávila-Álvarez A, González-Rivera I, Ferrer-Barba A, Portela-Torron F, González- Garciab E, Fernández-Trisaca JL, et al. Complicaciones neurológicas en el postoperatorio inmediato de cirugía cardíaca: todavía un largo camino por recorrer.

An Pediatría. 2012;76(4):192–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2011.07.018>

20. Montes, Félix Ramón, et al. Función pulmonar luego de revascularización miocárdica con y sin circulación extracorpórea. *Revista Colombiana de Anestesiología*. 2003;31(2):77-84. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1951/195117838002.pdf>
21. Ji Q, Mei Y, Wang X, Feng J, Cai J, Ding W. Risk Factors for Pulmonary Complications Following Cardiac Surgery with Cardiopulmonary Bypass. *Int J Med Sci*. 2013;10(11):1578–82. DOI: <https://dx.doi.org/10.7150%2Fijms.6904>
22. Huertas SLA. El mundo de un perfusionista. *Rev Mex Enfermería Cardiológica*. 2012;20(3):124–8. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/enfe/en-2012/en123g.pdf>
23. Correa EÁ. Máster en técnicas de perfusión y oxigenación extracorpórea, interesante experiencia académica. *Rev ESPAÑOLA Perfus*. 2017;(63):51–2. Disponible en: <https://www.aep.es/fotos/d4c2e4a3297fe25a71d030b67eb83bfc15523797191.pdf>
24. Asociación Española de Perfusionistas. Manual de Calidad en Perfusión. España, 2004. Disponible en: https://www.aep.es/comisiondocumentos/7/Manual_de_calidad.pdf