

Circulación Fetal

PABLO GARCÍA MORO¹

Universidad de Salamanca
pgarciamoro@usal.es

SUMARIO

La sangre, como es bien sabido, recorre el sistema cardiovascular a través de un circuito en serie propiciado por la actuación de una bomba doble conocida como corazón. Este órgano, formado por dos mitades, distribuye la sangre por todo el cuerpo para que tenga lugar el aporte de oxígeno y nutrientes a los distintos tejidos y órganos, permitiendo así el correcto funcionamiento de los mismos. La parte izquierda del corazón bombea la sangre a la circulación sistémica mientras que la parte derecha la bombea a la circulación pulmonar. Sin embargo, el sistema cardiovascular durante la vida fetal funciona como un circuito en paralelo gracias a la actuación de ciertas estructuras solo presentes en esta etapa de la vida. Gracias a ellas la sangre recorre circuitos alternativos, no existentes durante la vida adulta, que permiten su oxigenación en el órgano que fundamentará la vida del feto: la placenta.

En este artículo académico presentaremos dichas estructuras y haremos un seguimiento del circuito que recorre la sangre durante la vida fetal. También revisaremos algunas de las patologías más importantes asociadas al mal cierre de estas estructuras fetales.

Palabras clave: oxígeno, sangre, feto, conducto venoso, conducto arterioso, foramen oval.

SUMMARY

Blood, as is well known, goes through the cardiovascular system in a series circuit propitiated by a “double pump” known as the heart. This organ, formed by two halves, dis-

¹ Pablo GARCÍA MORO es estudiante de tercer curso del Grado en Biología en la Universidad de Salamanca.

tributes the blood to the whole human body in order to provide the rest of organs and tissues with oxygen and nutrients for their right operation. The left half of the heart pumps blood to the systemic circulation while right half pumps it to the pulmonary circulation. However, during fetal life, both heart halves work in parallel. This is caused by some special structures that only appear during this stage of human life. They allow blood to bypass through alternative circuits, which do not exist during adult stage, in order to reach one of the most important organs that sustain the fetus life: placenta.

In this academic work, these fetal structures are described as well as the fetal blood circuit. Also some of the most important pathologies associated with the bad closing of fetal structures are putting forward at the end of the paper.

Keywords: oxygen, blood, fetus, venous duct, arterious duct, oval orifice.

1. INTRODUCCIÓN

En los fetos humanos, el corazón y los primitivos vasos sanguíneos por los que circulará la sangre en esta etapa de la vida comienzan a desarrollarse al final de la tercera semana después de la fecundación. El bombeo del corazón a la circulación fetal empieza a estabilizarse al final de la tercera semana o comienzos de la cuarta (Fig. 1), momento en el que el feto tiene aproximadamente 0,4 mm de diámetro. Así, el sistema cardiovascular es el primer sistema que comienza a funcionar en el feto.

Estructuralmente, el corazón y la vascularización continúan desarrollándose con la adición del atrio, el tabique y los vasos sanguíneos en las siguientes semanas, así que las mayores características estructurales se completarán al final de la séptima semana (Fig. 2). Después de esto, el corazón se hace más grande y los vasos sanguíneos proliferan a medida que se desarrollan nuevos tejidos pero la estructura básica cardiovascular cambia poco.



Figura 1: Imagen del feto a las 3 semanas



Figura 2: Imagen del feto a las 7 semanas

2. ESTRUCTURAS CARDIOVASCULARES FETALES ESPECIALES

Hay cuatro estructuras en el aparato circulatorio del feto que lo diferencian del de un adulto:

1. Conducto arterioso (Fig. 3): Se trata de una anastomosis (pequeño conducto que conecta, en el caso que nos atañe: la arteria pulmonar principal, que dirige la sangre a los pulmones; y la arteria aorta, que dirige la sangre al resto del cuerpo y a la placenta). Esta estructura va a permitir que la circulación sanguínea evite el paso por los pulmones, de forma que la mayoría de la sangre que lleva el tronco arterioso pulmonar va a desembocar en la arteria aorta. La resistencia de los vasos pulmonares es muy elevada durante el periodo fetal, por lo que apenas va a pasar sangre por ellos, y no influyen en ellos las presiones parciales de los gases que circulan por la sangre. Por esta razón los pulmones no van a tener una función relevante durante la vida fetal. La presión en la arteria pulmonar es más elevada que en la arteria aorta, esto facilita el paso de la sangre de la arteria pulmonar a la arteria aorta a través del conducto arterioso.
2. Placenta (Fig. 4): Órgano efímero (solo aparece durante la vida fetal) en el que ocurre el intercambio de sustancias (oxígeno y metabolitos) entre la circulación materna y la circulación fetal. Posee baja resistencia, por lo que va a tener gran irrigación. A ella llega la sangre desoxigenada que circula por la arteria aorta descendente y las arterias umbilicales. En la placenta la sangre se oxigena, y se dirige al corazón del feto para ser bombeada.
3. Conducto venoso (Fig. 5): Se trata de un pequeño vaso sanguíneo que comunica dos venas: la vena umbilical (que lleva sangre oxigenada procedente de la placenta), y la vena cava inferior (que recoge la sangre desoxigenada de la parte inferior del cuerpo del feto). La finalidad de que exista este conducto es evitar la irrigación del hígado (órgano de alta resistencia); función semejante a la del conducto arterioso que, en su caso, evitaba la irrigación de los pulmones. Al contrario que los pulmones, el hígado si posee funciones de alta relevancia en el feto, como por ejemplo la hematopoyesis. Sin embargo, para su irrigación basta de una pequeña porción de sangre proveniente de la placenta (sangre oxigenada), la cual circulará por la vena porta para irrigar este órgano mientras que el resto de la sangre de la vena umbilical pasará por el conducto venoso hasta llegar a la vena cava inferior.
4. Foramen oval (Fig. 6): Una abertura en el tabique entre la aurícula izquierda y derecha, la cual permite que la sangre oxigenada procedente de la vena cava inferior fluya hacia la aurícula izquierda. El foramen oval está cubierto por una solapa que permite un flujo sanguíneo de derecha a izquierda, pero

evita el flujo en sentido contrario. La función de esta estructura es que la sangre que proviene de las venas cava no se mezcle, puesto que por ellas circulan distintos tipos de sangre en lo que se refiere al grado de oxigenación que existe en cada una de ellas:

- La vena cava superior lleva sangre desoxigenada procedente de los tejidos superiores del cuerpo del feto: cabeza, cuello, tórax, etc.
- La vena cava inferior lleva dos tipos de sangre: sangre desoxigenada procedente de los tejidos inferiores del cuerpo del feto y del hígado, y sangre oxigenada procedente de la placenta que a la altura del hígado atraviesa el conducto venoso.

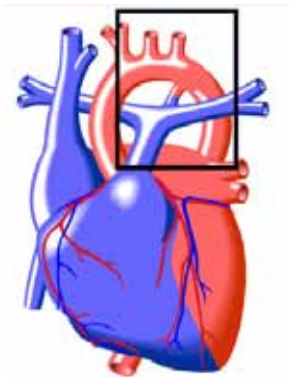


Figura 3: *Conducto arterioso*

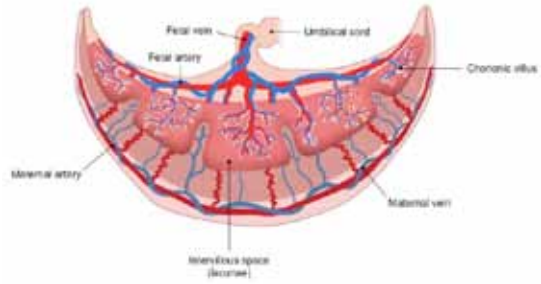


Figura 4: *Esquema de la placenta*

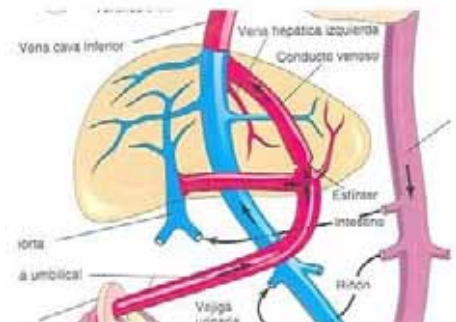


Figura 5: *Conducto venoso*

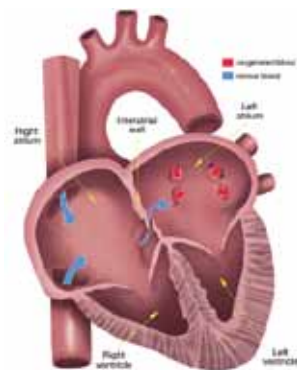


Figura 6: *Foramen oval*

3. CIRCUITO QUE RECORRE LA SANGRE

Si nos situamos en la aurícula derecha, a ella llega sangre procedente de las venas cavas:

- La vena cava superior, que lleva a la aurícula derecha sangre desoxigenada procedente de los tejidos de la parte superior del cuerpo.
- La vena cava inferior en la que circula sangre oxigenada procedente de la vena umbilical y sangre desoxigenada procedente de los tejidos de la parte inferior del cuerpo y el hígado.

Por tanto, a la aurícula derecha llegan 3 tipos de sangre: desoxigenada de la cava superior, desoxigenada de la cava inferior y oxigenada de la cava inferior.

La sangre desoxigenada, pasa de la aurícula derecha al ventrículo derecho. Desde aquí es bombeada a la arteria pulmonar. Sin embargo aquí la sangre puede viajar a dos destinos distintos:

- Seguir por las arterias pulmonares hasta los pulmones fetales. En la práctica, la cantidad de sangre que pasa a los pulmones fetales es bastante poca en comparación con la que toma la ruta del conducto arterioso; esto es debido a la alta resistencia existente en los vasos sanguíneos pulmonares, provocada por la compresión que ejercen los pulmones sobre los vasos, que evita el paso de la sangre a los mismos.
- Atravesar el conducto arterioso, que une la arteria pulmonar con la aorta descendente, pasando por alto los pulmones fetales.

A partir de aquí haremos un seguimiento de ambas rutas:

- La sangre que ha viajado a los pulmones fetales a través de las arterias pulmonares retorna al corazón, a la aurícula izquierda, a través de las venas pulmonares. Esta sangre, que está poco oxigenada (porque los pulmones en el feto no llevan a cabo su función), pasa al ventrículo izquierdo que la manda a través de la aorta a la circulación sistémica. Parte de la sangre se dirige al encéfalo a través de las arterias carótidas, otra parte irriga el propio corazón a través de las arterias coronarias y otra parte irriga las extremidades superiores; el resto de la sangre circulará a la parte inferior del cuerpo y sus tejidos a través de la aorta descendente.
- La sangre que pasa por el conducto arterioso viaja a través de la aorta descendente a los tejidos de la parte inferior del cuerpo.

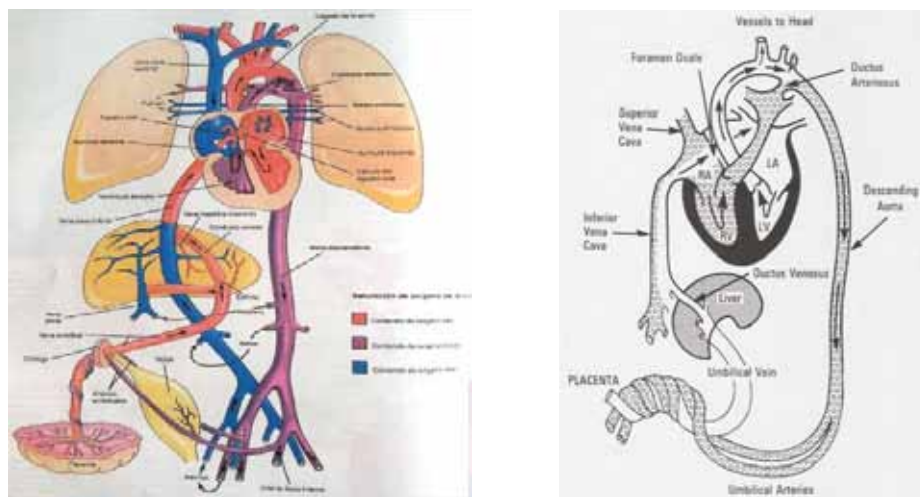
Parte de la sangre que viaja por la arteria aorta descendente pasa a las extremidades y órganos de la parte inferior del cuerpo y otra parte se dirige a las arterias umbilicales. Estas arterias son ramificaciones de la aorta y llevan la sangre a la placenta, donde tiene lugar su oxigenación e intercambio metabólico (recoge nutrientes y deposita sustancias de desecho). La sangre regresa por la vena umbilical al cuerpo del feto. En este momento en el que viaja por la vena umbilical pueden ocurrir dos cosas:

- La sangre pasa por la vena porta y se dirige al hígado fetal inmaduro. Esta sangre cede el oxígeno en el tejido y se convierte en sangre desoxigenada que viajará a la vena cava inferior.
- La sangre no pasa por el hígado, sino que atraviesa el conducto venoso y llega a la vena cava inferior. Esta sangre permanece oxigenada.

Como se mencionó anteriormente, la sangre que viaja por la vena cava inferior es de dos tipos: una oxigenada y otra no oxigenada. Es importante señalar que por la vena cava inferior, existe un flujo laminar de sangre. Es por esta razón que la sangre oxigenada no se mezcla con la desoxigenada salvo en la zona en la que hay contacto entre ellas, en la que se produce algo de difusión.

Esta vena desemboca en la aurícula derecha. La sangre que aquí llega se encuentra con una estructura que forma parte del “septum secundum” llamada *crista dividens* que, gracias a su posición anatómica y su funcionamiento, evita la mezcla entre sangre oxigenada y no oxigenada. Esta estructura dirige la que está oxigenada a la aurícula izquierda, haciendo que atraviese el foramen oval. Desde allí, volverá a hacer el recorrido anteriormente mencionado (bombeo a la circulación sistémica). La sangre desoxigenada pasará al ventrículo derecho y seguirá la ruta previamente explicada (bombeo a la arteria pulmonar, y en este punto podrá dirigirse a los pulmones o atravesar el conducto arterioso).

Como conclusión de la explicación de este circuito sacamos en claro que la sangre que irriga la parte superior del cuerpo se encuentra más oxigenada que la que irriga la parte inferior ya que la primera se encuentra con el conducto arterioso tras dejar atrás las arterias coronarias y el cayado de la aorta, de donde salen las carótidas y las arterias que llevan la sangre a las extremidades superiores, oxigenando los tejidos y órganos de la parte superior del cuerpo, promoviendo un desarrollo más eficaz de los mismos.



Figuras 7 y 8: Diagramas del circuito que recorre la sangre en la circulación fetal

4. BOMBEO DE LA SANGRE Y SU DISTRIBUCIÓN EN EL FETO

En un adulto, la sangre es impulsada desde el ventrículo izquierdo a la circulación sistémica; después vuelve al corazón, esta vez a la parte derecha del mismo, que impulsará la sangre a la circulación pulmonar. De esta forma, las dos mitades del corazón trabajan como un circuito en serie.²

En el feto, la mayoría de la sangre bombeada por el corazón derecho no va a los pulmones, evita este destino y entra directamente en el conducto arterioso. Así, los dos ventrículos del corazón fetal bombean la sangre en paralelo. El término “salida ventricular combinada” es utilizado para describir este mecanismo de bombeo de la sangre por el corazón en el feto.

La salida de sangre del corazón del feto ha sido estudiada con gran detalle en ovejas. En condiciones de reposo, el volumen de sangre bombeada por estos animales alcanza los 500 ml/min/kg del peso del cuerpo del animal. Este número toma un valor muy alto en comparación con el que representa el bombeo de un corazón adulto que alcanza valores de 80 ml/min/kg. Además, la distribución de esta sangre y la cantidad que llega a varios de los órganos es diferente que en la de un espécimen adulto³.

² GUYTON - HALL “Tratado de Fisiología Médica” - **Décima Edición**. Capítulo 83: Libro de fisiología médica.

³ BEST, TAYLOR “Physiological Basis of Medical Practice” - 12th Edition. Capítulo 61: Libro de fisiología animal. Aplicaciones para la medicina.

Se estima que la sangre que es expulsada del corazón de los fetos humanos (usando técnicas de ultrasonografía) alcanza valores bastante altos alcanzando los 350 ml/min/kg del peso del feto. Además, el hematocrito de los fetos humanos parece ser un 50 % mayor que en el de los fetos de oveja.³

En cuanto a la distribución de la sangre en el feto:

- Un 6 % se encuentra irrigando a los pulmones
- Un 5 % en el propio corazón
- Un 2 % en los riñones
- Un 20 % en el cerebro
- Un 20 % en músculo esquelético y huesos
- Un 7 % en la zona abdominal
- Un 40 % en la placenta

	FETO	ADULTO
Pulmones	6	100
Corazón	5	5
Riñones	2	20
Músculo esquelético/huesos	20	20
Zona abdominal	7	30
Cerebro	20	20
Placenta	40	-

Tabla 1. *Comparativa (en porcentaje) sobre la distribución de la sangre en el feto y en el adulto³*

5. CAMBIOS CIRCULATORIOS TRAS EL NACIMIENTO

5.1. ¿QUÉ OCURRE CUANDO SE PINZA EL CORDÓN UMBILICAL?

El pinzamiento del cordón umbilical lo que va a producir es el cese de la circulación de la sangre por los vasos umbilicales, es decir, las dos arterias y la vena umbilical. Al no circular la sangre por estos vasos tiene lugar el cierre de los mismos.

El primer acontecimiento que tiene lugar es, con la eliminación de la placenta, el aumento de la resistencia del sistema circulatorio sistémico, que casi se duplica, puesto que se trataba de un órgano que poseía baja resistencia al paso de la sangre.

Como consecuencia aumenta la presión arterial al igual que la presión en la aurícula y ventrículo izquierdo, aumentando así la descarga del corazón. Inmediatamente después, se produce la ventilación pulmonar.⁴

En estado fetal, las resistencias de los vasos sanguíneos que irrigan los pulmones son altas puesto que están sometidos a la compresión por parte de los pulmones, que en este estado poseen un volumen reducido. Con el primer aliento, los vasos sanguíneos pulmonares sufren vasodilatación. De esta forma se disminuye la resistencia al flujo sanguíneo que pasa por los pulmones, disminuyendo así la presión arterial pulmonar y la presión de la aurícula y ventrículo derechos. La resistencia vascular pulmonar se reduce por 5.³

Con el pinzamiento del cordón umbilical y el primer aliento (primera ventilación pulmonar), tienen lugar unos cambios decisivos e irreversibles de la circulación fetal:

- Cierre del foramen oval.
- Cierre del conducto arterioso
- Cierre del conducto venoso.

5.1.1. *Cierre del foramen oval*

Durante la vida fetal, las presiones en las aurículas son bastante similares, ya que, al contrario que en el adulto, la presión de la circulación pulmonar es relativamente alta porque los vasos sanguíneos se encuentran comprimidos por los pulmones, y la presión de la circulación sistémica es baja puesto que una gran parte de la sangre viaja a la placenta.

Tras el primer aliento, aumentan la presión de la aurícula izquierda y disminuye la de la aurícula derecha. Al reducirse las resistencias vasculares pulmonares, la presión arterial pulmonar disminuye y el aumento de flujo en las venas pulmonares provoca un aumento del valor de la presión de la aurícula izquierda que, es suficiente para hacer circular la sangre de forma retrógrada a la de la circulación fetal. La presión ahora en la aurícula izquierda es mayor que en la aurícula derecha. Por esta razón la sangre deja de pasar en el sentido en el que lo hacía durante la circulación fetal. Esto conduce al cierre fisiológico de la válvula que cubre el foramen, impidiendo así que la sangre lo atraviese. En un periodo de varios días, la válvula se fusiona con la valva del tabique, produciéndose el cierre anatómico.

4 BERNE, LEVY "Physiology" – 7th Edition. Capítulo 17: Libro de Fisiología Animal.

5.1.2. *Cierre del conducto arterioso*

En lo referente a la circulación sistémica, se produce un aumento en la presión aórtica, por el aumento de las resistencias periféricas en este circuito. Además, la resistencia en el circuito pulmonar se reduce por la dilatación de los vasos sanguíneos, como se ha mencionado anteriormente. Tras el nacimiento, la sangre comienza a fluir en sentido contrario desde la aorta descendente hasta la arteria pulmonar a través del conducto arterioso. Tras unas pocas horas después del parto, la pared muscular de la arteria sufre una gran contracción que provoca el cierre de este conducto completamente. El cierre de este conducto está relacionado con la presión parcial de oxígeno de la sangre que lo atraviesa. Esta sangre, proviene de los pulmones, ya que se ha efectuado la primera ventilación pulmonar.

Frecuentemente el oxígeno actúa como vasodilatador; sin embargo, en estos vasos sanguíneos en concreto, actúa como un potente vasoconstrictor. Gracias a este efecto que tiene el oxígeno en la pared de los vasos se produce el cierre del conducto.

Durante la vida fetal, la presión parcial de oxígeno de la sangre que pasa por él alcanza valores de entre 15 y 20 mmHg, y tras unas horas después del parto aumenta, hasta alcanzar los 100 mmHg.³

5.1.3. *Cierre del conducto venoso*

Tras el nacimiento, la sangre deja de fluir por la vena umbilical. Sigue habiendo gran cantidad de sangre que atraviesa el conducto venoso y una pequeña porción que atraviesa el hígado. En este momento, la pared muscular del conducto venoso se contrae e interrumpe el flujo. La presión de la vena porta aumenta hasta valores de entre 6 y 10 mmHg, lo que obliga a la sangre a atravesar el hígado. El mecanismo por el cual se produce el cierre no se conoce con exactitud actualmente.³

5.2. ¿QUÉ OCURRE SI NO SE PINZA EL CORDÓN UMBILICAL?

Ocurra el pinzamiento o no, los cambios que sufre el feto al nacer son los mismos, lo único que varía es el orden de los acontecimientos.

Cuando no hay pinzamiento, lo primero que tiene lugar es la ventilación pulmonar, que produce la disminución de la resistencia vascular pulmonar (como hemos mencionado anteriormente) y aumentará entonces la presión parcial de oxígeno en las arterias umbilicales. Este cambio en la presión parcial, provocará que

los vasos umbilicales se cierran. De nuevo se destaca la actuación el oxígeno como vasoconstrictor.

De esta forma se produce la interrupción de la circulación placentaria, y aumenta en este momento la resistencia circulatoria sistémica. Tras esto, tienen lugar el cierre de las estructuras características del feto.

5.3. PROCEDIMIENTO DE ACTUACIÓN ENTRE HUMANOS Y OTROS MAMÍFEROS

El pinzamiento del cordón umbilical es el método de actuación más común en la especie humana. ¿Pero qué ocurre con otras familias de mamíferos como los bóvidos (vacas)?

En otras especies no tiene lugar el pinzamiento del cordón umbilical. De modo que lo que ocurre en ellas en primer lugar es la ventilación pulmonar. La madre pare a la cría y al cabo de un intervalo de tiempo que la madre respeta, ella misma corta el cordón umbilical mediante mordiscos; o en el caso de las yeguas y los potros mediante el estiramiento del cordón que conduce a su escisión. Se puede deducir de esta forma de actuación que, de alguna forma, las madres saben cuándo han de proceder a la retirada del cordón y de la placenta mediante los métodos previamente mencionados. Este momento se corresponde con el cese de la circulación placentaria; el cordón umbilical “deja de latir”, es decir, deja de circular sangre a través de los vasos de su interior.

6. PATOLOGÍAS

En lo referente a las patologías, existen dos muy relevantes que se manifiestan al no producirse el cierre de algunas estructuras características del feto:

1. Foramen oval permanente: Se trata de una patología que afecta al 25% de la población. Es una patología por lo tanto bastante común en la especie humana. Se produce un fallo en el cierre anatómico del foramen oval, es decir, no tiene lugar la fusión de la valva del tabique con la válvula del foramen. En la mayoría de las personas no se produce ningún síntoma y se descubre de forma casual al hacer un ecocardiograma, por otra causa. En algunos casos puede favorecer las llamadas “embolias paradójicas”, que consisten en el paso de un coágulo sanguíneo, generalmente formado en las venas de las piernas, a través del foramen oval, a la circulación sistémica y por ella al cerebro produciendo microinfartos cerebrales. Según la Fundación Española del Corazón, también se piensa que se asocia con una mayor pro-

babilidad de padecer migrañas y también el síndrome platipnea-ortodesoxia o el síndrome de descompresión.⁵

2. Conducto arterioso persistente: Tiene lugar por fallos en el cierre del conducto arterioso. Según la Fundación Española del Corazón, los bebés prematuros tienen mayor probabilidad de padecer esta patología. Este fallo en el cierre conduce a problemas respiratorios además de hipertensión. Al no cerrarse el conducto arterioso parte de la sangre de la arteria aorta se dirige a los pulmones, esto es lo que provoca la hipertensión en el neonato. Además, puede aparecer con otros defectos cardíacos, produciéndose complicaciones en el sistema cardiovascular del recién nacido. Para poner solución a esta anomalía, se recurre al ibuprofeno u otros AINEs por vía intravenosa, que reducen el problema en la mayoría de los casos y sin presentar complicaciones. Si con el uso de medicamentos no se corrige el problema, se pasará a la cirugía para poner un catéter.⁶

7. CONCLUSIONES

El sistema cardiovascular tal y como lo conocemos es resultado de una serie de procesos que conducen al cierre de las estructuras especiales presentes durante la vida fetal.

Los procesos que conducen al cierre de las estructuras cardiovasculares fetales son: el pinzamiento del cordón umbilical y la primera ventilación pulmonar. El orden en el que tienen lugar estos procesos no afecta en absoluto al resultado: el cierre de las estructuras. Esto puede apreciarse en las distintas familias de mamíferos placentarios.

Aunque el papel del oxígeno es vasodilatador en el sistema cardiovascular, el efecto que tiene en estas estructuras fetales es el contrario: vasoconstrictor; y es el que conduce al cierre de las mismas.

El mal cierre de estas estructuras conduce a diferentes tipos de patologías: algunas graves que han de ser tratadas, en ocasiones mediante intervención quirúrgica, inmediatamente después de ser detectadas; otras que no llegan a ser nunca detectadas puesto que los síntomas que expresan son imperceptibles.

5 <http://www.fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/enfermedades-cardiovasculares/foramen-oval-permeable.html> revisado en febrero de 2018 (Dr. Vicente Montagud Balaguer)

6 <http://www.fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/enfermedades-cardiovasculares/ductus-arterioso-persistente.html> revisado en febrero de 2018 (Dra. Laura Higuera Ortega)