

CARACTERISTICA DE LA BOMBA OXIGENADORA DE OLSON. ESTUDIO EXPERIMENTAL Y CLINICO*

DR. JENARO PLIEGO

LA CIRUGÍA cardíaca abierta es posible en la actualidad gracias a la inventiva de J. Gibbon y C. Crafoord, quienes abordaron el estudio de la circulación extracorpórea y diseñaron las bombas oxigenadoras que se conocen con el nombre de "corazón pulmón artificial".

A W. Lillehei corresponde el mérito de haber acelerado la cirugía intracavitaria, primero por la iniciación de la circulación cruzada como método de exclusión cardíaca y, más tarde, debido a la construcción, junto con De Wall, de un oxigenador y una bomba de circulación extracorpórea, de una simplicidad tal que facilitó su generalización en los centros de cirugía cardíaca mundial.

Del entusiasmo por esta rama de la cirugía nació el diseño de diferentes tipos de oxigenadores cuyo principio de oxigenación variaba de acuerdo con ellos.

Los tres tipos principales de oxigenadores son:

- 1º El oxigenador de burbuja:
Oxigenador de De Wall y Lillehei.
- 2º El oxigenador de película:
De tipo rejilla, Gibbon.
De tipo cilindro, C. Crafoord.
De tipo disco, Kay Cross.
- 3º Oxigenador de membrana:
De tipo Clowes y de tipo Kolpf.

En el éxito de la cirugía cardíaca abierta juega un papel importante la bomba oxigenadora. La mortalidad por lesiones anatómicas complejas podrá modificarse hasta cierto punto, pero nunca abolirse, de aquí la responsabilidad que tiene el cirujano de escoger el sistema de oxigenación que le ofrezca mayor garantía en su uso y que no contribuya a la mortalidad.

* Trabajo de Sección (Cirugía de Tórax), leído por su autor en la sesión ordinaria del 14 de abril de 1962.

¿Cuáles son las características que debe reunir un oxigenador y una bomba de circulación extracorpórea, para que sea un factor contribuyente en el éxito de la cirugía cardíaca abierta? Capacidad de mantener al organismo durante la exclusión cardíaca como si el corazón y los pulmones estuviesen funcionando. Para esto se requiere:

- 1º Que la bomba oxigenadora sea capaz de perfundir al organismo con un flujo basal.
- 2º Que sea factible el intercambio gaseoso de la sangre a su paso por él, es decir, que tenga la capacidad de oxigenarla y permita la eliminación del CO_2 .
- 3º Que se pueda mantener la humedad y la temperatura de la sangre.
- 4º Que no exista peligro de embolia gaseosa.
- 5º Que no traumatice los elementos sanguíneos, es decir que no produzca hemolisis ni destrucción de plaquetas.
- 6º Que su manejo sea simple y que permita un margen de seguridad razonable.
- 7º Que la esterilización y su limpieza sean fáciles.

Estos requisitos creo los reúne la bomba oxigenadora de Olson cuyo oxigenador es de disco del tipo Kay Cross.

¿Cómo se realiza la oxigenación en el oxigenador de Kay Cross? El oxigenador de Kay Cross es un cilindro de cristal cuyas bases se encuentran formadas por dos placas de acero inoxidable unidas entre sí por una barra de acero que constituye el eje del cilindro. Sobre esta barra se encuentra montada una serie de discos de acero inoxidable que pueden ser planos o corrugados, separados por pequeños espaciadores y que van de un extremo a otro del cilindro.

El eje del cilindro está conectado a un mecanismo eléctrico que permite la rotación de los discos a velocidad variable.

El cilindro se monta en posición horizontal sobre el gabinete de Olson y así recibe la sangre venosa del paciente, la que por gravedad se acumula en su parte inferior, llevando su límite superior hasta, aproximadamente, a unos 3 cm. de la barra de rotación.

A este cilindro de cristal llega el oxígeno o la mezcla gaseosa constituida por un 98% de oxígeno y un 2% de bióxido de carbono, a través de un tubo con múltiples perforaciones que dejan escapar el oxígeno en los espacios comprendidos entre cada disco.

Cuando el oxigenador entra en función se inicia la rotación de los discos, al mismo tiempo que se abre la válvula de oxígeno. El disco al rotar a través de la sangre, se empapa de ella y se le deposita una película uniforme, que es la que va a constituir la superficie sanguínea sobre la que se realizará el intercambio gaseoso de la respiración.

De los estudios experimentales y clínicos realizados con el oxigenador de disco por Kay Cross, Robert Gross, Watkins, se llegó a la conclusión que cada disco es una unidad respiratoria capaz de transferir a la sangre 1.25 cc. de oxígeno, si éstos son planos, o 1.40 cc. de oxígeno si son corrugados, cuando su rotación es de 90 a 100 revoluciones por minuto y la cantidad de sangre que permanece en el oxigenador se mantiene al nivel descrito anteriormente.

Este hallazgo demuestra que este oxigenador tiene capacidad variable y que ella está en relación directa del número de discos, del tamaño del oxigenador, de las revoluciones por minuto de los discos y de la cantidad de sangre que existe en el oxigenador.

La capacidad de oxigenación se puede aumentar si se aceleran las revoluciones de los discos, pudiéndose llegar hasta 140 por minuto, pero no más allá de esta velocidad ya que el efecto sería contrario, pues no sólo no se aumenta la oxigenación sino que se producen turbulencias que originan burbujas que pueden entrar en la circulación.

Es también sabido que el uso de oxigenadores con capacidad superior a la requerida por el paciente, o el exceso de oxígeno en la atmósfera del oxigenador pueden ser nocivos, pues al elevar la tensión de oxígeno es posible disolverlo en el plasma y producir embolias gaseosas en el enfermo.

Hay que tener en cuenta, también, que el intercambio gaseoso de un oxigenador depende de la mezcla de gases que se usen, pues ella producirá una tensión normal de oxígeno y CO_2 en la sangre arterial que se perfunda al paciente.

Además del factor oxigenador la bomba juega un papel importante, pues si ésta es capaz de perfundir al paciente con flujos basales, el riesgo de la acidosis metabólica debida a anoxia tisular será mínimo. Por lo tanto, si contamos con una bomba oxigenadora capaz de adaptarse a las necesidades metabólicas de cada enfermo, deberemos elegir el oxigenador de acuerdo con estos requerimientos.

Los requerimientos de un enfermo sometido a anestesia general con relajantes musculares son de 2,300 a 2,400 cc. de sangre por m^2 de superficie, y de 100 cc. de oxígeno también por m^2 de superficie corporal. Así, por ejemplo, en un enfermo cuya superficie corporal es de $.90 \text{ cm}^2$, elijeremos el oxigenador de 3 pulgadas con 64 discos, ya que cada disco transfiere la sangre 1.4 cc. de oxígeno. El flujo pre-calculado para este paciente será entre 2,070 y 2,160 cc.

DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA OXIGENADORA DE OLSON Y DATOS EXPERIMENTALES

Antes de iniciar la cirugía cardíaca abierta en el humano quisimos verificar la eficiencia del oxigenador de Kay Cross y la bomba de Olson, así como comprobar los hallazgos de los autores antes mencionados.

Esta unidad consta de dos partes principales:

- 1º La bomba propiamente dicha.
- 2º El sistema de circulación extracorpórea.

Las bombas de Olson son cilindros rotatorios de velocidad variable, cuya oclusividad se puede adaptar y que se encuentran montadas en el gabinete de acero inoxidable.

Este gabinete tiene en su cara frontal los controles, tacómetros y carátulas correspondientes a los mecanismos de la bomba, del oxigenador, del teletermómetro, del polarógrafo y del regulador de temperatura.

Si dividimos la cara anterior del gabinete en tres secciones, encontramos en la parte lateral izquierda y de arriba a abajo, la carátula del teletermómetro, la del cambiador de temperatura y la llave que regula la mezcla de agua caliente y fría del cambiador de temperatura (heat exchanger de Brown Harrison). En su porción central se encuentran tres carátulas correspondientes a las bombas arterial, de seno coronario y la que corresponde a las revoluciones de los discos. Abajo de cada una de ellas existe control de la velocidad de éstas, y los interruptores de corriente de las bombas. A un lado se encuentra la carátula del polarógrafo.

En la parte superior del gabinete se encuentran montadas las dos bombas, cada una de ellas en la mitad posterior de esta superficie y en cada extremo. En la mitad anterior se coloca el oxigenador. En el ángulo posterior del gabinete existe un tubo vertical conectado con el interior de éste que evita la acumulación de los gases explosivos. Es decir éste junto con un ventilador, regulan la presión interior del gabinete. Además, sirve el soporte para los recipientes venosos.

En la parte lateral izquierda del gabinete se encuentra suspendido el regulador de temperatura de Brown Harrison. Por debajo de éste se encuentra el switch eléctrico del aparato, la entrada de oxígeno, las conexiones para agua caliente y fría del *heat exchanger* y la conexión para el drenaje del agua de este regulador de temperatura.

En la porción posterior del gabinete se encuentran las manijas de la bomba, para usarlas en caso de falla de corriente.

Sistema de circulación extracorpórea. Los diferentes componentes del sistema de circulación extracorpórea los describiremos en el orden en que van siendo recorridos por la sangre, con el objeto de facilitar su comprensión.

La sangre del enfermo es recogida por dos catéteres introducidos en las venas cavas a través de la aurícula derecha, los que conectados por medio de una Y metálica drenan por gravedad al primer recipiente llamado recipiente venoso colector de Gross. Este recipiente es cilíndrico de acero inoxidable en su parte superior y de cristal en su mitad inferior. En la porción superior se

adaptan cuatro rejillas de acero inoxidable, que sirven de filtro a la sangre proveniente de la succión intracardiaca y que desemboca a través de la tapa de este recipiente por medio de dos tubos.

En la parte lateral de la porción de acero inoxidable se encuentra la conexión para el tubo de las venas cavas y en el fondo del recipiente que es cónico existe la conexión que comunicará este recipiente con el siguiente que se llama recipiente de asentamiento de Gross, por medio de un tubo de tygón de $\frac{5}{8}$ de pulgada.

El recipiente de asentamiento es un cilindro de cristal que sirve de reserva de sangre al oxigenador cuando se manejan grandes flujos y al mismo tiempo facilita el escape de burbujas despertadas por la turbulencia de los grandes flujos. Este recipiente se conecta al oxigenador también por medio de un tubo de tygón de $\frac{5}{8}$ de pulgada.

Del oxigenador de disco de tipo Kay Cross, que ya ha sido descrito anteriormente, parte un tubo de tygón de $\frac{3}{8}$ de pulgada que conduce la sangre arterializada al paciente, pasando primero por el regulador de temperatura, después por la bomba arterial y por último por el filtro y trampa de burbuja para llegar al enfermo a través de una cánula insertada en la arteria femoral.

El regulador de temperatura es un cilindro hueco cuyo interior tiene numerosos túneles por los que cruza la sangre, y entre éstos y la camisa externa del regulador circula agua caliente o fría, o la mezcla de éstas, que es la que va a regular la temperatura de la sangre.

El filtro y trampa de burbujas es una caja metálica cilíndrica que tiene dos compartimientos divididos por una rejilla de acero inoxidable que sirve de filtro. El compartimiento anterior al que llega la sangre antes de ser filtrada, es de cristal y permite visualizar la sangre con el objeto de evitar que se pasen burbujas de aire a la circulación. Si existen burbujas se pueden purgar por la parte superior del filtro por medio de una llave de dos vías.

CIRCULACIÓN EXTRACORPÓREA

Armado el oxigenador de acuerdo con los requerimientos del enfermo o del animal de experimentación, se inicia el llenado con sangre heparinizada conteniendo de 20 a 30 mg. de heparina por cada 500 cc. de sangre.

La cantidad de sangre necesaria para purgar el sistema varía de acuerdo con el tamaño del oxigenador y va desde 2,200 cc. hasta 3,400 cc., según se use el oxigenador de 13, 17 o 21 pulgadas.

El nivel de la sangre en el oxigenador llega al sitio ya mencionado y que se encuentra aproximadamente a 3 cm. por debajo del eje de rotación de los discos.

Purgado el sistema de burbujas de aire se conectan el tubo venoso con la Y de las cavas y el tubo arterial con la cánula femoral.

La circulación extracorpórea principia en el momento en que se abre la pinza que ocluye el tubo de las cavas y se deja fluir la sangre por gravedad al recipiente venoso, teniendo cuidado de que se produzca un chorro continuo en parábola. Generalmente este punto en que la gravedad es suficiente se encuentra como a 25 cm. por debajo de la aurícula derecha. Al mismo tiempo se inicia el bombeo arterial, y el flujo de oxígeno. Cuando el nivel del oxigenador se ha estabilizado a la misma altura que antes de iniciar la circulación, de la exclusión parcial se pasa a la exclusión total que consiste en drenar toda la sangre del sistema venoso del organismo, cerrando las cavas a su entrada en las aurículas sobre los tubos insertados en ellas por medio de ligaduras temporales.

Durante la circulación extracorpórea hay que mantener el flujo y la oxigenación adecuadas de acuerdo con los requerimientos del enfermo operado para no producir ni acidosis metabólica ni elevación exagerada en la tensión de oxígeno. Lo primero lo sabremos tomando medidas de flujo periódicamente, por medio de una maniobra sencilla que consiste en ocluir, durante 10 segundos, el tubo que conecta el recipiente de venas cavas con el recipiente de asentamiento. Cuando se realiza esta oclusión sube el nivel de la sangre en el recipiente venoso y como éste se ha graduado previamente, podremos saber la cantidad de flujo, v. gr. si se colectaron 300 cc. en 10 segundos el flujo será de 1,800.

La tensión parcial de oxígeno se controla con el polarógrafo o por medio de la saturación de oxígeno. Si la saturación arterial no pasa de 98%, se puede decir que la tensión parcial es normal.

Durante la circulación extracorpórea se debe mantener el nivel de la sangre en el oxigenador, y si éste baja por pérdida de sangre del enfermo, se deberá reponer a través del oxigenador. Se debe mantener una presión arterial adecuada, un flujo satisfactorio y una presión venosa dentro de límites normales.

Durante la circulación extracorpórea se dosifica el pH y el CO_2 y si se descubre acidosis metabólica, se tratará con bicarbonato de sodio.

La temperatura de la sangre se controla por medio del regulador de temperatura.

Terminada la cirugía cardíaca, se principia por disminuir progresivamente el número de revoluciones de la bomba, se pasa a la exclusión cardíaca parcial aflojando las cintas de las cavas y una vez que el nivel en el oxigenador es el mismo que cuando se inició la circulación extracorpórea, se pinzan simultáneamente el tubo arterial y venoso y se para la bomba.

DATOS EXPERIMENTALES

Se operaron 23 perros con el oxigenador de Kay Cross y la bomba de Olson para corroborar la eficiencia de esta unidad y familiarizarnos con su manejo.

Los perros fueron anestesiados con nembutal y anectine y la respiración se controló a través de un tubo endotraqueal con el respirador de Palmer usando aire comprimido.

En todos se hizo cálculo previo de sus requerimientos metabólicos y, de acuerdo con esto, se seleccionó el oxigenador y el número de discos.

Como estudios de control se solicitaron: saturación arterial, dosificación de pH y CO₂, dosificación de hemoglobina en plasma y cuenta de plaquetas. Los primeros como control de la oxigenación y los últimos como control del traumatismo producido, tanto por el oxigenador como por la bomba.

Los 23 perros fueron operados a través de toracotomía derecha; en 4 sólo se practicó oxigenación, en 13 se hizo ventriculotomía derecha, en 1 se creó comunicación interventricular, en 4 se puso parche en el infundíbulo del ventrículo derecho y en 1 se abrió la aurícula izquierda.

El tiempo de perfusión osciló entre 20 y 30 minutos en 3 casos, de los cuales 2 tuvieron sobrevida larga y 1 sobrevida corta. En 13 casos la perfusión fue de 31 a 60 minutos, habiendo sobrevida larga en 4 y sobrevida corta en 9. En 6 casos la perfusión fue de 61 a 90 minutos, habiendo 2 sobrevidas largas, 2 sobrevidas cortas y dos muertes en la mesa. El caso de 131 minutos de circulación extracorpórea también fue de muerte inmediata.

En cinco experimentos se obtuvo saturación de sangre arterial, siendo de 85 a 90% en tres casos, y de 91 a 100% en dos. La dosificación del pH mostró cifras que oscilaron entre 7.25 y 7.45. En estos 5 experimentos el tiempo total de circulación extracorpórea osciló entre 30 y 75 min. y el flujo entre 1,200 y 1,350 cc.

En los mismos 5 experimentos la cuenta de plaquetas mostró pocas alteraciones, pues su cuenta fue de 140,000 a 150,000 en un caso; de 175,000 a 200,000 en dos casos y de 200,000 a 210,000 en dos casos.

La hemólisis del plasma, medida en miligramos por ciento, fue mínima en un caso; de 10 a 20 mg. en dos casos y de 32 a 44 mg. en dos casos.

El tiempo de perfusión osciló entre 30 y 74 minutos, y el flujo entre 1,200 y 1,350 cc.

De las observaciones de estos experimentos se concluyó que, tanto el oxigenador de discos como la bomba de De Bakey modificada por Olson, son sumamente eficientes.

Se obtuvieron en las diferentes perfusiones en perros que oscilaron entre los 10 y los 20 kilos, flujos que fueron de los 600 a los 1,800 cc. y frecuentemente la presión arterial media rebazó a los 100 mmHg.

Durante las perfusiones los perros llegaron a conservar el reflejo claro.

La sobrevida corta de estos perros no se encuentra ligada a la oxigenación, pues en casi la totalidad de ellos se recuperó la conciencia y si murieron, probablemente la causa fue el tipo de procedimiento quirúrgico practicado en

ellos, aún cuando la causa real de la muerte no la conocemos, ya que no se practicó autopsia.

EXPERIENCIA CLÍNICA

De la cirugía experimental se pasó a la cirugía clínica y así se operaron, del 9 de noviembre de 1960 al 12 de noviembre de 1961, 79 enfermos en el Servicio de Cirugía del I.N.C.

En la mayoría de los enfermos operados se practicaron con regularidad, sobre todo en los primeros 36 enfermos los estudios de saturación, pH y CO₂ hemolisis en plasma, y cuenta de plaquetas.

En este trabajo voy a hacer referencia detallada en relación con estos datos, solamente en 57 enfermos.

La superficie corporal fue de 0.5 a 1 m² en 23 casos; de 1½ a 2 m² en 28 casos, y de 2½ m² en 6 casos.

El oxigenador usado fue de 13 pulgadas en 24 casos, de 17 en un caso y de 21 en 32 casos.

El flujo de la bomba osciló entre 1 y 2 lt. en 19 casos, entre 2 y 3 lt. en 25 casos, entre 3 y 4 lt. en 10 casos y de 4 a 5 lt. en 3 casos.

Como se puede ver por estos datos los enfermos recibieron el flujo requerido por m² de superficie en condiciones de anestesia.

La duración de la circulación extracorpórea osciló entre 0 y 15 minutos en 6 casos, de 16 a 30 minutos en 18 casos, de 31 a 60 minutos en 24 casos, de 61 a 90 minutos en 8 casos y de 2 horas en un caso.

El promedio de pH durante la perfusión osciló entre 7.20 y 7.49. La saturación entre 92 y 93% y la hemolisis entre 5 y 18.5 mg. de hemoglobina por 100 cc. de sangre.

Como se ve, no obstante que hubo perfusiones superiores a una hora en varios casos, el pH se mantuvo dentro de límites aceptables.

De los 79 enfermos operados la distribución por lesiones cardíacas fue como sigue:

HUMANOS OPERADOS CON EL OXIGENADOR DE DISCOS Y BOMBA DE OLSON

NÚMERO DE ENFERMOS OPERADOS 79

	<i>No. de casos Defunciones</i>	
Comunicación interauricular	20	1
Lutembacher	2	1
Retorno total anómalo de venas pulmonares	5	2
Estenosis pulmonar valvular	2	—
Trilogía de Fallot	6	1
Comunicación interventricular	22	4
Tetralogía de Fallot	18	7
Estenosis aórtica congénita	2	1
Aneurisma de ventrículo izquierdo	1	1
Estenosis mitral calcificada	1	—

DISCUSIÓN

De la experiencia con el uso de oxigenador de discos tipo Kay Cross y la bomba de Olson, tanto en la cirugía experimental como en la clínica, se llega a las siguientes conclusiones:

- 1^a Que la oxigenación practicada por este tipo de oxigenador, es eficiente y sencilla y capaz de llenar los requerimientos de cualquier enfermo, sin importar la talla o el peso.
- 2^a Que la bomba de Olson es capaz de perfundir flujos basales con saturaciones fisiológicas como queda evidenciado por la ausencia de acidosis metabólica.
- 3^a Que el traumatismo de la sangre es mínimo, como se hizo evidente por la dosificación de hemoglobina en plasma y por la cuenta de plaquetas.
- 4^a Que el riesgo de embolia gaseosa es mínimo y el de embolia de "Anti-foam" nulo, pues no se requiere el uso de antiespumante.
- 5^a Que el hecho de que se pueda calibrar el oxigenador de acuerdo con los requerimientos fisiológicos del enfermo en relación con su talla y peso constituye una de las enormes ventajas de este sistema, pues reduce al mínimo el riesgo de la anoxia tisular y, por consiguiente, la mortalidad.
- 6^a El uso del cambiador de temperatura como modificador de ésta amplía la versatilidad del oxigenador, permitiendo realizar cirugía que requiere la hipotermia profunda.

Para terminar, creo que la observación de estas series de experimentos reafirma la idea de que la circulación extracorpórea realizada con flujos elevados es francamente superior a la oxigenación de flujos subnormales, en la que la aparición de la acidosis metabólica constituía uno de los mayores riesgos de la cirugía cardíaca.