

ALGUNAS EXPERIENCIAS DE OXIGENOGRAFIA

Oxigenógrafo del Dr. Frédéricq modificado por el Dr. Vergara Lope de México

Suplico muy atentamente a los señores académicos, que se dignen excusarme por ocupar su atención con un asunto cuyo estudio practiqué hace muchos años en el desaparecido INSTITUTO MEDICO NACIONAL y en el Gabinete de Fisiología de la ESCUELA NACIONAL DE MEDICINA.

Bien conocidas son ya las razones que me obligan a exhumar de mis viejos archivos el que me sirve ahora para elaborar mi trabajo reglamentario, para que yo deba insistir más sobre ello; pero como estos estudios no han sido todavía suficientemente publicados ni presentados ante esta Honorable Academia, ni tampoco se han hecho en México por ningún otro experimentador, espero que merecerán la atención de ustedes y su respetable juicio.

Las experiencias sobre oxigenografía son interesantes por sí mismas; son de aquellas en las que los fenómenos se nos revelan autografiados de tal manera, que las conclusiones se imponen sin que sea necesario de inferencias ni de ninguna otra operación difícil del raciocinio.

En muchos de los experimentos en que se emplean los aparatos gráficos, así en el estudio de los fenómenos físicos como de los fisiológicos, las conclusiones se presentan con la fuerza de la evidencia; tal sucede con las curvas que registran los termógrafos de los observatorios meteorológicos, como con los que registran las variaciones del período latente de la contracción muscular al paso de la corriente farádica.

Para registrar la cantidad de oxígeno consumido por la respiración de los animales existen varios aparatos, pero uno de los más usados en los laboratorios de Fisiología es el Oxigenógrafo del Dr. León Frédéricq, de Lieja, para cuya descripción y mejor comprensión de las manipulaciones necesarias y modificaciones aplicadas por mí a este aparato, me sirven las

láminas I a III que acompañan esta memoria. La lámina I, representa el aparato original de Frédéricq, y está tomada de los dibujos que se muestran en varios de los libros escritos por este notable experimentador; está destinado este aparato al estudio de la respiración del conejo y es el mismo de que yo me he valido para mis experiencias.

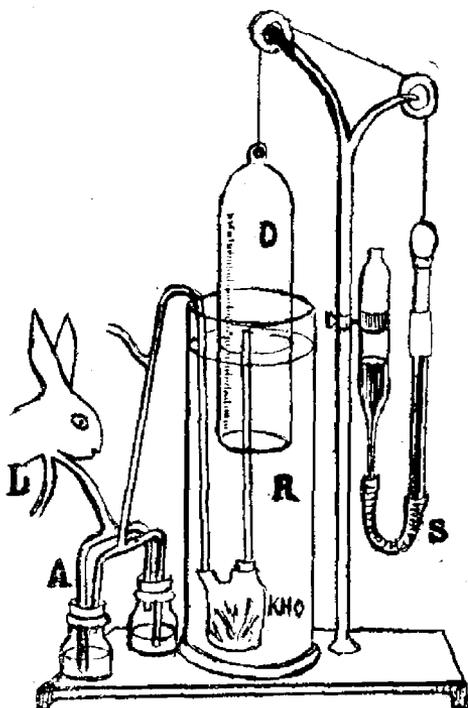


Lámina I.

OXIGENÓGRAFO DE FREDERICQ

Destinado a medir y registrar el consumo de oxígeno por la respiración de un conejo.

A. - Frascos lavadores al través de los cuales pasan los gases de la respiración.

KHO. - Frasco con varillas de potasa cáustica.

Q. - Campana con oxígeno puro.

S. - Contrapeso de mercurio en sifón para sostener la campana.

R. - Recipiente con solución de Cloruro de calcio.

L. - Cánula traqueal.

[Exercices Pratiques de Physiologie.-LEON FREDERICQ, p. 85.-Liege.]

Consiste como se ve, en una campana de gases, un verdadero gasómetro que contiene oxígeno puro, destinado a mantener la respiración del animal sujeto a la experiencia. El conejo, previamente traqueotomizado, respira por medio de una cánula traqueal el O. de la campana, siendo ésta de cristal y graduada exactamente en centímetros cúbicos. (Ver la lámina núm. 1). La cánula traqueal se continúa con un tubo de caucho, cuyo calibre, lo mismo que el de todos los tubos que conducen los gases de la respiración, debe ser el de la tráquea; este tubo de caucho liga la tráquea con otro de vidrio, el que desemboca en el interior de la campana, pero en el trayecto están intercalados los dos frascos lavadores (A. lám. 1) que funcionan como válvulas, de manera que la corriente de los gases pasa alternativamente, ya por uno de estos frascos, hácia la campana, (durante la expiración), ya de la campana hácia la tráquea del conejo, (en la inspiración); el funcionamiento de estos frascos se determina colocando en su interior hasta una altura conveniente cierta cantidad de líquido, una

solución titulada de potasa cáustica en agua destilada, que sirve asimismo para fijar el ácido carbónico o anhídrido carbónico, arrastrado por los gases de la expiración. Intercalado también, y antes de desembocar el tubo de vidrio

dentro de la campana graduada, en el fondo del recipiente (R) se coloca un pequeño frasco de Woulff (KHO) conteniendo varillas de potasa cáustica, humedecidas con agua destilada, que contribuyen poderosamente a la fijación del CO_2 ; la cantidad de este gas se determina después por el aumento del peso del frasco; pues éste debe pesarse con toda precisión inmediatamente antes y después del experimento.

Obligado a respirar el conejo el gas contenido en la campana, se observa necesariamente la disminución del volumen de dicho gas, y la campana, perfectamente equilibrada por medio de un contrapeso de mercurio que se regula automáticamente, se hunde gradual y progresivamente en el líquido del recipiente R.; cuyo líquido es una solución de cloruro de calcio, que no puede absorber el O. de donde resulta que la cantidad del gas consumido por el conejo, puede conocerse fácilmente con solo leer en la graduación de la campana la cifra que corresponde a la altura de la solución líquida.

Para hacer de este sistema descrito, un aparato gráfico, se coloca sobre la pared de la campana un estilete largo y ligero, cuyo extremo libre desliza suavemente dejando su huella, sobre la superficie ahumada del cilindro de un polígrafo de Foucault en posición vertical. De esta manera se obtiene un trazado de precisión sorprendente, por el que queda grabado, no solamente el delicado y rápido sube y baja de la campana de vidrio, variando sincrónicamente con los cambios del volumen del tórax del conejo en cada uno de los instantes de los movimientos respiratorios, sino el descenso gradual de la campana, que origina una curva helicoidal en torno del cilindro.

Como complemento forzoso se necesita inscribir simultáneamente y al lado del trazado respiratorio; el tiempo en que tales fenómenos tienen lugar; para ello se hace funcionar un reloj de segundos o el péndulo de un metrónomo, sean de inscripción directa o de transmisión, y así podrá medirse exactamente; trazando después en el mismo lugar líneas horizontales y paralelas, cuya separación entre sí sea precisamente la de las líneas de la escala de la campana de vidrio, se puede leer en el trazo la cantidad de oxígeno consumido en determinado tiempo. Las indicaciones de esta lectura deberán referirse asimismo al peso del animal, y las tablas de corrección y las fórmulas de Mariotte; servirán para conocer el valor de estos resultados, referidos a 0° y a 76 centímetros de presión y compararlos con los obtenidos por otros experimentadores.

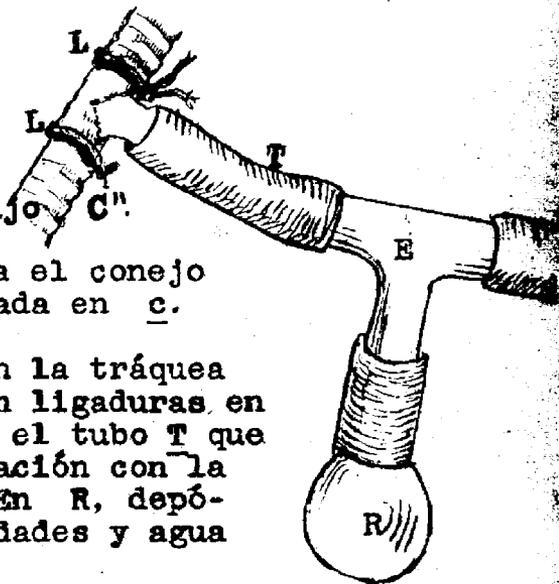
Tal es el aparato original de León Frédéricq y la manera como funciona; pero la práctica con él me llevó a hacerle algunas modificaciones, de cuya importancia ustedes juzgarán, y las que paso en seguida a señalar.

La cánula tráqueal que yo usé, fué construída por mí mismo, de vidrio, y conforme a la figura que se ve en la lám. II, dibujo C. Este modelo es de muy fácil aplicación, desliza más pronta y suavemente que las construídas

con metales y sin vulnerar los tejidos; su forma en T asegura una buena fijación, lo mismo que las depresiones de su calibre, sirven para impedir que resbalen las ligaduras que se hacen en L y L. (La misma lám., dibujo C_o).



Dibujo C.



Dibujo C''.

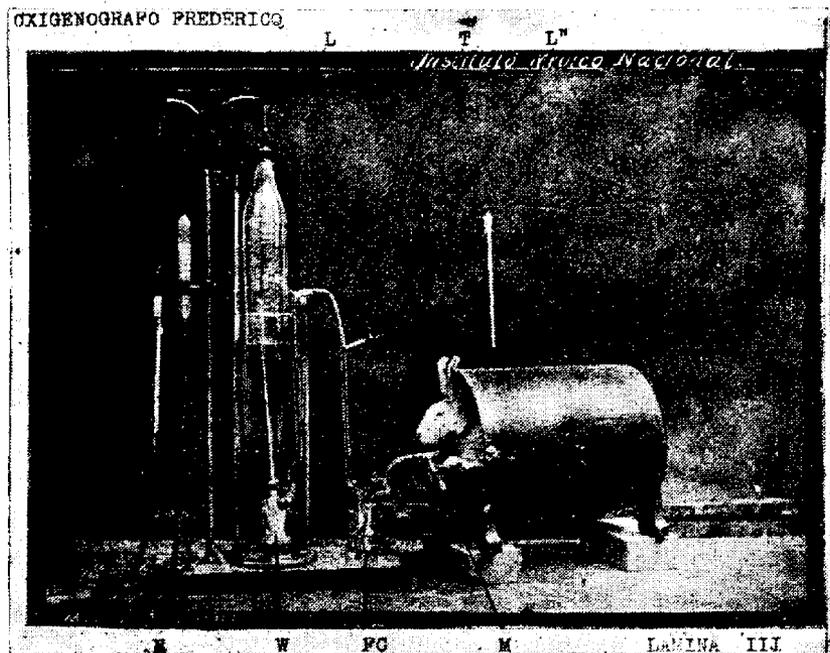
C - Cánula traqueal para el conejo
Abierta en a y cerrada en c.

C''- La misma colocada en la tráquea
del animal sujeta con ligaduras en
L y en conexión con el tubo T que
establece la comunicación con la
campana de oxígeno.-En R, depó-
sito para las mucosidades y agua
de condensación.

Lámina II.

Como a tres centímetros de la cánula tráqueal, se encuentra otra pequeña modificación, esta consiste en la intercalación de un tubo de vidrio en forma de T (Ver E., lám. II, dibujo C_o) que por dos de sus ramas asegura la continuidad de la comunicación con la campana, y por medio de la tercera se pone en relación con un pequeño recipiente esférico (R. dibujo C_o) sirviendo este depósito para recibir las mucosidades y agua de condensación, que pueden obstruir parcial o totalmente los tubos conductores, como sucedió al hacer mis primeros ensayos.

Los frascos-válvulas (A) que tiene el aparato original de Frédéricq, fueron sustituidos por mí con frascos de Cloez (Lám. III-FC) y en lugar de estar fijos sólidamente como en el aparato original, yo dispuse un sistema sencillo de alambrado y elásticos. Con la supresión de los frascos lavadores de forma común, se quitaron los tapones perforados al través de los cuales pasan los tubos de vidrio, pues los de Cloez están contruidos de una sola pieza y totalmente de vidrio, quedando así suprimidos los arreglos más o menos difíciles de los tapones, de cuyo buen ajuste depende que no haya fugas de gases; además, los de Cloez son mucho más ligeros.



La sujeción semimóvil de los frascos Cloez permite que cuando el conejo hace algún movimiento, los frascos y tubos interpuestos puedan seguir en cierto grado ese movimiento, evitándose así que el conejo se lastime; y sin que en nada se desarregle el funcionamiento perfecto del Oxigenógrafo.

Otra modificación que me facilitó mucho las manipulaciones, especialmente el llenamiento de la campana con el O₂, operación que muchas veces tiene que hacerse con el conejo ya *in situ* y fija la cánula tráqueal a los tubos conductores, consistió en la colocación de dos llaves, una al través de la parte superior de la campana (L.-Lám. III) y otra en el trayecto de los tubos conductores (L₂) de la misma Lám).

Antes de la colocación de estas llaves, la introducción del O₂ en el interior de la campana y la del líquido en que se sumerge, eran sumamente laboriosas, y con estas llaves, convirtiéronse en lo más sencillo. Abierta la llave superior, L, se hunde la campana dentro de la cuva cilíndrica que contiene la solución de cloruro de calcio, y esta solución penetra en el interior desalojando el aire que sale por dicha llave, hasta que al través de esta misma salen algunas gotas; en este momento, se cierra la llave, y la campana llena por completo con la solución, queda enteramente sumergida hasta el fondo de la cuva. En seguida, la llave L₂, que había quedado cerrada durante la introducción del líquido, se conecta con la bolsa o generador de

O. químicamente puro, se abre cuando está ya hecha la conexión, y haciendo subir la campana tirando de ella hacia arriba, o comprimiendo la bolsa del O., este gas, pasa por el tubo T (Lám. III) y al través del frasco Woulff, (W) llenando fácil y totalmente la campana; cuando está llena, se abre la T de vidrio que se encuentra cerca de la cánula tráqueal, retirando el pequeño recipiente esférico (M en Lám. III) R en Lám. II) y haciendo presión sobre la campana, se hunde nuevamente un poco; con el fin de que todo el sistema de tubos conductores, desde la tráquea hasta la campana, quedan ocupados tan solo por el O.; por el mismo sencillo procedimiento se repone el gas que hiciera falta; y por último, se procura que el cero de la escala métrica grabada en la campana, quede precisamente al nivel del líquido de la cuva. Se coloca el cilindro para la gráfica, la señal de Desprez se pone en combinación con el aparato medidor de tiempo y se hace girar el polígrafo. En este instante, se comunica la tráquea del conejo con solo reponer en su sitio el pequeño recipiente esférico; la respiración del animal, que hasta esos momentos se había hecho libremente en la atmósfera, comienza a hacerse en el interior de la campana, que inmediatamente se pone a oscilar rápida y suavemente siguiendo los movimientos de la columna gaseosa que entra y sale de los pulmones.

Queda dicho, que deberán hacerse antes de comenzar a tomar el trazado, la medida de la temperatura de la solución de cloruro de calcio, la del aire que rodea el cuerpo del conejo y la rectal del mismo. Estos datos se recogerán también durante la experiencia y al fin de ella, para tener el promedio de todas las observaciones como punto de comparación definitiva; igualmente se practican simultáneamente las observaciones del barómetro que nos dará la presión atmosférica.

Para que el funcionamiento de la campana se haga con toda facilidad, que sus paredes no choquen ni por un momento contra las de la cuva o contra las de los tubos conductores, así como para que el estilete gráfico que lleva la misma campana, se aplique perfecta y constantemente a la superficie del polígrafo, se necesita que todas estas partes del aparato se encuentren en un mismo plano, todas perfectamente verticales. Para conseguir esto con facilidad y exactitud, hice poner unos tornillos de nivel (N.—Lám. III) de las cuales carece el aparato de Frédéricq, y cuya utilidad para el importante punto que acabo de señalar no necesita encomiarse.

Quédame ya un solo detalle importante; la manera de sujetar el conejo inmovilizándolo suficientemente para el buen resultado. Frédéricq cree que es bastante que un ayudante sujete las cuatro patas con la mano derecha, en tanto que la izquierda sostiene sólidamente la cabeza, apoyando el pulgar bajo el maxilar y los otros dedos sobre la bóveda. Este recurso sen-

cillo, seguro y útil cuando se trata de experiencias de corta duración, no basta cuando ésta tiene que ser más o menos prolongada y cuando de la duración dependen los mejores resultados; he aquí como he procedido yo: sobre una tabla de cuatro centímetros de espesor, cuya forma corresponde a lo que proyecta el cuerpo del animal cuando está naturalmente descansando sobre sus cuatro patas, están fijas unas cintas de latón de tres centímetros de ancho y bastante delgadas para poder contornear con ellas fácilmente el cuerpo del conejo; de una especie de anillo o collar por donde se pasa la cabeza, de manera que no pueda estorbar para el paso de la cánula, parte por encima la cinta más larga que se aplica sobre la línea dorsal, desde el cuello hasta la parte posterior del animal, en donde se fija esta cinta metálica a la tabla por medio de un tornillo de presión; de esta cinta longitudinal parten otras tres transversalmente, soldadas en cruz sobre la anterior, las que, contorneando los flancos, se fijan asimismo sobre el perímetro de la tabla; estas cintas no comprimen el cuerpo del conejo, lo obligan a permanecer en posición de echado sobre el vientre, sin dificultar en nada los movimientos del tórax ni lastimarlo; un lienzo tendido sobre el mismo armazón, cubre todo el cuerpo del conejo haciendo más completa la sujeción.

La inmovilización algo prolongada de los animales, es motivo para que se observe una baja de su temperatura normal; a la inactividad muscular corresponde naturalmente la disminución de las combustiones, y por ende, una depresión correspondiente, proporcional, en la fijación de O. y desprendimiento del bióxido de carbono; es pues necesario conservar esa actividad en sus límites normales por algún otro medio, porque de no ser así, los resultados no corresponderían al objeto buscado. A ese fin, el conejo, ya fijo o sujeto por el armazón descrito, lo introduje (después de traqueotomizado) dentro de uno de los cilindros del calorímetro diferencial y compensador de d'Arsonval (Véase la Lám. III) y en el espacio que deja la doble pared del cilindro, hice circular agua a temperatura un poco elevada, hasta obtener así la conservación invariable de la temperatura rectal del conejo.

En la lám. III, fotografía tomada de la disposición, y en que se ven las modificaciones que he señalado, no se muestra el aparato de gráfica, porque la imagen resultaba un tanto confusa para la descripción; por otra parte, todos mis HH. consocios, conocen perfectamente tales aparatos, los han hecho sin duda funcionar por sí mismos, y todo ello hace innecesaria su vista en el lugar que le correspondería en la figura.

Los resultados que obtuve fueron siempre de los más comprobantes, mostrando que las cantidades de O. consumido y de CO² exhalado por los pulmones, son iguales a los determinados por los fisiólogos europeos, y entre las experiencias que hice, cuyos resultados deben conservarse entre los

documentos que fueron del Instituto Médico, puedo presentar la única que en mi poder conservo, por ser una de las más elocuentes.

Ambos presentan los caracteres de que he tratado ya, y el espacio escogido para la amplificación, que corresponde a 20 segundos de tiempo, demuestra que durante él hubo un consumo de Oxígeno igual a 51 centímetros cúbicos, o sean, 9 litros y 180 c.c. por hora; cantidad que dividida entre 8 kilogramos 759 gramos, peso del conejo, corresponde a los 48 c.c. por kilogramo y hora, a 15 centígs. y 585 milíms. de presión barométrica.

Aplicando para el caso la fórmula de Mariotte:

$$P = \frac{1 \text{ gr. } 293 \times H \times V}{76}$$

$$\text{Tendremos: } P = \frac{1, 293 \times 58 \times 1048}{76} = 0 \text{ gr. } 998 \text{ milígs.}$$

Peso del O. consumido, referido a 0° y 76 cents.

Si tomo ahora los números que nos da el mismo León Frédéricq, obtenido como promedio en sus experiencias, en Lieja, encuentro 600 a 800 c.c. a 15° y a 75 cents. de presión, cifras que sustituidas en la misma fórmula da: 0 gr. 765 a 1 gr. 148; entre cuyos números se encuentra comprendido el que arrojó nuestra observación.

En uno de los informes de la Sección 3ª del Instituto Médico, firmado por el entonces Director, Doctor Fernando Altamirano, el 30 de marzo de 1901, se hace constar que la cifra obtenida por mí como promedio de una larga serie de observaciones, fué de 710 c.c. por kilo y hora, a cuyo promedio se aplicó el cálculo dando la cifra de 0 gr. 918 milígs. («ANALES DEL INSTITUTO MEDICO NACIONAL».—Tomo V. página 34).

El trazo original que tengo el honor de presentar ante los señores académicos, es notable desde diversos puntos de vista: además de su finura, presenta tramos muy largos de una regularidad sorprendente, tanto en lo que se refiere a la línea de descenso que es debida al hundimiento gradual de la campana y que marca el consumo de oxígeno, como respecto a los detalles correspondientes a la forma y amplitud de los movimientos del tórax, que generalmente son tan rápidos en estos animales. Con verdadera precisión se puede estudiar el ritmo, las líneas de la inspiración y expiración, la vibración de las paredes debida al choque sistólico; todos los cambios de presión intratorácica están autografiados en este trazo.

Las experiencias que inicié en la Sección Tercera de Fisiología, del

Instituto Médico, me sirvieron además para las demostraciones practicadas ante mis alumnos de Fisiología de nuestra Escuela Nacional de Medicina, para cuyo laboratorio hice construir a los señores, Hermanos Peralta, un aparato con todas las modificaciones ya señaladas.

Este aparato, que seguramente sigue aprovechándose para la enseñanza en los cursos de Fisiología, servirá asimismo para rectificar los resultados obtenidos por mí, hace más de veinticinco años.

* * *

Si no existieran tantos hechos y observaciones que se consignan con la autoridad de sabios de reputación bien conocida y que vienen a demostrar la perfecta acomodación de los organismos que viven en las atmósferas enrarecidas de los lugares más elevados de la tierra; si todavía no se hubiesen determinado: la llamada hiperglobulia de las altitudes, estudiada por el Dr. Viault en las altas cordilleras peruanas, las observaciones de Egger, en el Sanatorio de Arosa; las de Wolff y Köppe, en Reiboldsgrüm, las experiencias de Regnard en la Sorbonne, y las ya numerosas hechas en nuestro país; si otros fenómenos, como el aumento de la densidad de la sangre, de su capacidad respiratoria, sorprendida y medida por el Dr. Paul Bert, etc., no hubieran venido ya a explicarnos los mecanismos de dicha acomodación, bastaría esta serie de experiencias de oxigenografía para desechar de plano la antigua y derrotada teoría de la Anoxihemia Barométrica.

Existen grupos de experiencias y observaciones, cuyos resultados se obtienen con muy grandes dificultades, cuando para ejecutarlas no se tiene la práctica suficiente en el manejo de los aparatos, o que, aun cuando se tenga esa práctica, existen otros factores del medio en que se opera, o netamente individuales; entonces, es muy difícil neutralizar el «error personal», que pueda alcanzar importantes proporciones, bastantes para falsear y aun desnaturalizar los resultados verdaderos; pero cuando las experiencias son del género de las que aquí estudio, bastará estar bien seguro sobre la instalación y funcionamiento de los aparatos, para que los resultados inscribiéndose, exhibiéndose por sí mismos con claridad y elocuencia insuperables se impongan como incontrovertibles. En estos no hay que tener en cuenta el «error personal» ni otras circunstancias que rodearan al operador desviándolo del éxito.

Allegara López