

CONCENTRACIONES DE OXIGENO OBTENIDAS CON CINCO SISTEMAS DIFERENTES DE ADMINISTRACION DE OXIGENO NORMOBARICO

Estudio comparativo

Jordi Desola, Josep Bohé, Guillem Verdaguer, Enric Martínez, Angels Rabella.
CRIS - Unitat de Terapèutica Hiperbàrica, Barcelona.

Trabajo presentado en el
XXI Congreso de la *European Underwater and Baromedical Society*
Helsinki (EUBS), Julio de 1995.

INTRODUCCIÓN

El oxígeno puro (O_2) a la mayor concentración es el único fármaco de eficacia comprobada en la prevención e incluso en el tratamiento inicial del embolismo gaseoso propio de los Accidentes Disbáricos de Buceo (ADB). Pocas enfermedades en cambio requieren en la práctica clínica o en situación de emergencia, una FiO_2 tan elevada; en la mayoría de casos basta una FiO_2 de 0,25-0,4.

En los ADB el objetivo no es tanto "oxigenar" como "desnitrogenizar". Es decir, se trata de eliminar a favor de gradiente el exceso de gas inerte sobresaturado en los tejidos orgánicos (1,2).

Las más prestigiosas organizaciones relacionadas con la Medicina del Buceo (*Divers Alert Network - DAN*, *European Committee for Hyperbaric Medicine - ECHM*) recomiendan con insistencia la administración de O_2 al 100% ($FiO_2:1$), en caso de sospecha de ADB y preconizan que sea llevado a cabo por los propios deportistas adecuadamente entrenados para ello (3-7). Sin embargo en la práctica civil administrar O_2 al 100% suele ser difícil (8). Para obtener concentraciones altas se requieren tres condiciones:

- 1.- Una Fuente de oxígeno del 100%.
- 2.- Un caudalímetro con capacidad mínima de 15 litros por minuto (l/m).
- 3.- Una mascarilla anatómica hermética y bien acoplada.

Los dispositivos químicos que desprenden oxígeno a partir de reacciones químicas, y que se anuncian en algunas revistas de buceo, no alcanzan concentraciones suficientes. En España se ha difundido recientemente unos dispositivos conocidos como EMOX que proporcionan oxígeno al mezclar pastillas de una sal de manganeso con agua. Hemos analizado este sistema, comprobando los caudales máximos obtenidos, y la duración de un equipo, y los resultados demostraron su absoluta ineficacia.

Aunque el O_2 normobárico está disponible en todos los centros médicos, los caudalímetros pocas veces pueden conseguir flujos superiores a 10 litros por minuto (l/m), y aún más raramente los equipos disponen de mascarillas anatómicas realmente herméticas. En esta situación la máxima concentración de O_2 que se puede administrar con estos sistemas, no puede ser superior al 30 o 35 %.

La mascarilla abierta de tipo VENTURI, muy popular en los centros médicos, tiene un regulador que en teoría puede suministrar concentraciones de O_2 superiores al 50% ($FiO_2:0,5$). Una práctica habitual en muchos centros médicos, consiste en ocluir con un esparadrapo la ventana del (regulador, mezclador) con el propósito de obtener una más alta concentración cuando se precisa. En cualquier caso se conecta a un flujo continuo de O_2 , y el paciente respira directamente de un flujo alto de O_2 del cual el o ella sólo aprovecha una pequeña parte.

En el sistema tipo MONAGHAM el oxígeno se acumula en una bolsa reservorio de la cual el paciente; se trata pues de un **sistema de bajo flujo**, de donde el paciente toma el volumen justo de O_2 que necesita con independencia del flujo libre que se requiera para mantener la bolsa reservorio llena (9). Dispone de unas válvulas antirretorno ligeras para dirigir el flujo de oxígeno y evitar la reinhalación espiratoria, por lo que en algunos países es conocida como "mascarilla no reinhaladora" o "*non-rebreather mask*". En teoría este sistema es el que puede proporcionar la más alta concentración de oxígeno.

Otra alternativa es la administración de O₂ mediante una pieza bucal manteniendo la nariz cerrada con una pinza. Este método es frecuente en entorno militar y se recomienda como el que proporciona la mayor concentración de oxígeno en algunos tratados de medicina de buceo. Este sistema sin embargo no es casi nunca utilizado en centros civiles de buceo, en ambulancias, ni en puestos de socorro. Por otra parte, si se trata de pacientes graves, es muy difícil que éstos estén en condiciones de morder la pieza bucal.

El objetivo de este trabajo es comparar la utilidad y sobretodo la eficacia de algunos de los más populares sistemas de administración de O₂ normobárico distribuidos y disponibles entre buceadores y deportistas en general.

PACIENTES Y METODOS

Ocho voluntarios sanos (5 hombres y 3 mujeres) con una media de edad de $28,6 \pm 3,1$ años y un intervalo de 25-34. Se les colocó un electrodo transcutáneo de Clark a nivel infraclavicular derecho conectado a un aparato Radiometer TCAM-4 a fin de determinar Presiones Transcutáneas de Oxígeno (TcP O₂) y de Dióxido de Carbono (PtC O₂). Una vez conseguidos valores basales estables respirando aire, se efectuaron dos tipos de pruebas.

A.-COMPARACION MASCARILLA-PIEZA BUCAL: Los 8 voluntarios respiraron O₂ mediante una mascarilla tipo Monaghan con bolsa reservorio, después mediante una Pieza Bucal(PB) conectada a una válvula unidireccional al mismo sistema y con la nariz pinzada (Figura 1) y después mediante una Mascarilla Anatómica (MA) con la misma válvula unidireccional utilizada con la PB.

B.-COMPARACION DE SISTEMAS DE ADMINISTRACION DE O₂ NORMOBARICO. Los 8 voluntarios respiraron O₂ al 100%, siempre con mascarilla, mediante 5 diferentes sistemas en el siguiente orden:

1.-**Mascarilla tipo VENTURI (MV).** La ventana del mezclador se cerró al máximo, con lo cual se podría obtener una concentración máxima del 50% (Fi O₂:0,5). El flujo se fijó a 15 l/m.

2.-**Mascarilla tipo VENTURI OCLUIDA (MVO).** Se taparon los agujeros laterales de la mascarilla con esparadrapo y se mantuvo el mismo flujo.

3.-**Mascarilla tipo MONAGHAM (MM).** Circuito abierto de bajo flujo con bolsa reservorio con un flujo de 15 l/m (Figura 2).

4.-**REGULADOR A DEMANDA INSPIRATORIA (RD).** Se utilizó el regulador multifuncional diseñado por *Life support Products (LSP)* incluido en el equipo de oxígeno para buceadores distribuido por DAN (Figura 3). Dicho dispositivo proporciona un flujo variable adaptado a la demanda del paciente, y que puede alcanzar los 25 l/m.

5.-**CIRCUITO CERRADO (CC).** Se utilizó el SISTEMA WENOLL, muy popular también en Medicina del Buceo (Figura 4). Es un sistema de bajo flujo y mascarilla anatómica, en el cual se intercala un filtro absorbente de cal sodada. Se mantuvo un flujo inicial de 2 l/m reduciéndolo luego a 0,5 l/m tal como se recomienda en su manual de instrucciones.

6.- **SISTEMA DE PRODUCCIÓN QUÍMICA DE OXÍGENO.** Nuestra intención era comparar también la eficacia del llamado Sistema EMOX, que al ser de aparente bajo coste y simplicidad podría ser una alternativa interesante, según se afirma en la propaganda del distribuidor que se difundió en revistas españolas de buceo. El resultado no obstante fue que el citado dispositivo facilitó un caudal máximo de 6 l/m durante 2 minutos disminuyendo luego el caudal máximo a 2 l/m durante los 10 minutos restantes del total de 12 minutos de duración hasta que se agotó el aparato y las concentraciones máximas obtenidas nunca alcanzaron el 90%. En consecuencia el sistema EMOX no pudo ni tan solo ser ensayado a causa de su mínimo caudal, limitada autonomía, y concentración de oxígeno insuficiente.

Los cinco sistemas que demostraron en los controles previos funcionar de forma satisfactoria, se conectaron a la misma fuente de O₂, capaz de suministrar un flujo superior a 25 l/m. Cada voluntario respiró oxígeno con cada uno de los sistemas hasta conseguir una nueva lectura estable de TcPO₂, y como mínimo durante 5 minutos. Se intercaló una pausa de 5 minutos respirando aire entre cada aparato, excepto entre el primero y el segundo (MV y MVO) de acuerdo a la práctica habitual con estos dos dispositivos. Se obtuvieron registros

continuos de $TcpCO_2$ y $TcpO_2$. Se verificó la significación estadística, de los valores máximos, medios y mínimos obtenidos con cada sistema, mediante el Test de *Student-Fisher* previo análisis de las varianzas.

RESULTADOS

No hubo diferencias individuales, ni relativas al sexo, estadísticamente significativas. Todos los sujetos siguieron una distribución normal por lo que los resultados obtenidos pudieron ser aceptados.

$TcpCO_2$. Los valores basales medios fueron de $38 \pm 3,6$ los cuales disminuyeron de forma lenta y progresiva durante los aproximadamente 45 minutos que duró cada experiencia individual; el valor medio final fue de $23 \pm 3,3$. Esta disminución fue progresiva desde el comienzo de la prueba hasta su fin, y está relacionada con la técnica de medición del aparato; es decir no se detectaron variaciones significativas en el valor inicial y final de un mismo individuo, ni tampoco en los valores medios correspondientes a cada uno de los cinco sistemas.

Los valores basales medios de $TcpO_2$ fueron de $72,0 \pm 18,2$.

$TcpO_2$. Todos los sujetos experimentaron incrementos significativos cuando respiraron O_2 con cualquiera de los sistemas, tanto en la primera como en la segunda fase de esta prueba.

DISCUSION

A.- PIEZA BUCAL COMPARADA CON MASCARILLA ANATOMICA.

Ciertamente los valores medios obtenidos respirando O_2 puro con PB (515,3), fueron más altos que los obtenidos con la mascarilla tipo Monagham (360,8) con una significación de $p < 0,01$; pero cuando la misma válvula unidireccional usada con la PB fue conectada a una buena MA, los valores fueron mayores (525,3) que los obtenidos con la PB, aunque las diferencias entre los dos sistemas no fueron estadísticamente significativas (Tabla 1).

VALORES MAXIMOS DE $TcpO_2$	medias	dev.st	mín	máx	n
Mascarilla tipo Monagham (MM)	360,8	49,8	304	457	8
Pieza bucal (PB)	515,3	74,4	428	598	8
Mascarilla anatómica (MA)	525,3	87,2	401	610	8

Estos resultados demostraron que con una PB no se consiguen concentraciones más altas de O_2 que los que se consiguen con una MA. SHEFFIELD et al. compararon en 1977 diferentes tipos de mascarillas nasofaciales que influyeron en gran medida en las concentraciones finales de O_2 determinadas también mediante $TcPO_2$ (10); nosotros podemos añadir a aquéllas conclusiones que la calidad de la válvula unidireccional tiene todavía mayor importancia que la mascarilla o la pieza bucal en sí mismos. Todos los sujetos coincidieron en señalar la dificultad e incomodidad que implica el hecho de respirar con la pieza bucal debido a la salivación, las náuseas y al agotamiento de los músculos maseteros.

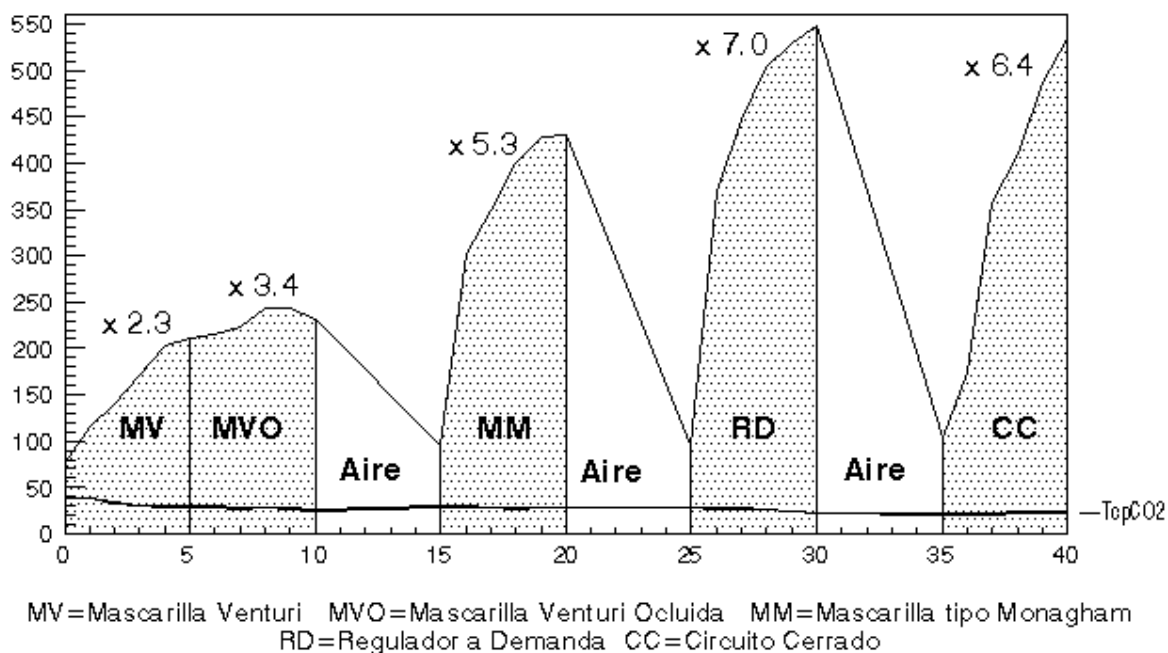
B.- COMPARACION DE LOS 5 SISTEMAS DE ADMINISTRACION DE O_2 NORMOBARICO. Los valores medios conseguidos con cada uno de los sistemas utilizados en la segunda fase del estudio fueron estadísticamente más altos que los valores basales ($p < 0,001$). Los valores medios obtenidos en los tres primeros sistemas (MV, MVO, MM) fueron más bajos ($p < 0,01$) que los obtenidos con el cuarto (RD) y el quinto (CC).

MEDIAS DE LOS VALORES MAXIMOS DE TcpO ₂	media	desv.st	mín	max	n
Basal	72,0	18,2	41	95	8
Mascarilla Venturi (MV)	165,1	37,4	111	215	8
Mascarilla Venturi Ocluida (MVO)	246,5	46,9	183	305	8
Mascarilla tipo Monagham (MM)	383,0	46,3	284	431	8
Regulador a demanda DAN-LSP (RD)	502,0	57,2	384	560	8
Circuito Cerrado WENOLL (CC)	460,0	94,6	292	580	8

El valor máximo (580) se obtuvo con el quinto sistema (CC). Sin embargo, el promedio de los valores máximos obtenidos con el sistema RD fue más alto que el obtenido con el CC. Esta diferencia no fue estadísticamente significativa (Tabla 2). Con la MV se consiguieron valores significativos pero moderados de TcpO₂ que superaron en 2,3 veces los valores basales. Cuando se ocluyeron las ventanas de la VM la Tcp O₂ aumentó 1,2 veces el valor máximo obtenido con las ventanas abiertas. Cuando se respiró O₂ con la MM, el valor máximo promedio fue 5,3 veces más alto que el valor basal. Cuando se respiró O₂ con el cuarto sistema (RD) el valor máximo fue 7,0 veces más alto que el basal, y con el quinto (CC) el incremento fue de 6,4 veces. Sin embargo, la diferencia entre estos dos últimos sistemas no fue estadísticamente significativa.

Concentraciones de oxígeno obtenidas con cinco sistemas de administración diferentes

CRIS - Unitat de Terapèutica Hiperbàrica



Se puede argumentar que la Oximetría Transcutánea no es un método fiable para determinar las presiones de O₂. Ciertamente esta técnica no es muy aceptada en neumología y en cuidados intensivos, debido a que se ve

influenciada por factores individuales, como el tipo de piel y las condiciones de perfusión, y puede mostrar importantes desviaciones cuando se compara con determinaciones arteriales de pO_2 . No obstante el objetivo de nuestra experiencia, fue comparar los incrementos de las presiones de O_2 con 5 sistemas diferentes de administración de O_2 , independientemente de su correspondencia con el valor arterial real. Por otra parte la Oximetría Transcutánea es un método fácil y no invasivo que permite un control directo y continuo de las variaciones de O_2 . Durante años se ha usado como el sistema más adecuado para estudios comparativos como éste (10-30). Por otra parte los valores obtenidos tanto con el Regulador a Demanda como con el sistema WENOLL, fueron sorprendentemente cercanos a los valores máximos que se pueden obtener en condiciones óptimas, con O_2 al 100% administrado a presión ambiente, tal y como es bien conocido en fisiología respiratoria. Nosotros utilizamos la $TcpO_2$ desde 1982 como un excelente método de control de calidad en Oxigenoterapia Hiperbárica. Los valores obtenidos en un mismo sujeto y la comparación de las variaciones de $TcpO_2$ que se detecten en la misma experiencia en relación a determinadas circunstancias, son de toda fiabilidad. Sin embargo, tal y como ya comunicamos en 1986, los valores de $TcpO_2$ obtenidos en sujetos, días, y condiciones diferentes, no deben ser comparados ya que las variaciones pueden ser debidas más a las circunstancias que al fenómeno objeto del estudio. Sólo son comparables los valores obtenidos en la misma serie, en el mismo individuo, y sin cambios en la localización del electrodo, en cuyo caso los valores relativos comparados son de toda fiabilidad (31). Esta es la razón por la cual los valores máximos obtenidos con la MM en la primera parte del trabajo, fueron diferentes a los obtenidos con el mismo sistema (MM) en la segunda parte, los cuales no deben pues ser comparados.

C.- COMPARACION DEL COSTE DE MANTENIMIENTO DEL OXIGENO FACILITADO POR CADA EQUIPO. La estimación del coste del oxígeno está en función de la fuente utilizada, y del caudal consumido. En relación a la fuente, el coste de cada litro de oxígeno suministrado, referido al precio de una carga, el sistema de generación química de oxígeno (Equipo EMOX) es con mucho el más caro de los sistemas pues el caudal que se obtiene con cada recambio posibilita 12 minutos de oxígeno a un flujo medio de 3 l/m, lo que significa un total inferior, en el mejor de los casos a los 50 litros de oxígeno, frente a los 400 que contienen los botellines de urgencia más comunes, cuyo precio de carga es similar. En relación al caudal facilitado, si bien el coste del oxígeno utilizado en el regulador a demanda y con el circuito cerrado es el mismo, al ser la duración de éste unas 8-10 veces mayor, el coste por litro de oxígeno se reduce en la misma medida.

CONCLUSIONES

Los **Sistemas de Producción Química de Oxígeno** a base de sales de manganeso (Sistema EMOX y similares) son por completo ineficaces en el tratamiento del disbarismo, y son con mucho la fuente de oxígeno de más elevado precio.

La **Pieza Bucal** no incrementa de manera significativa los valores máximos de $TcpO_2$ comparada con una buena mascarilla anatómica. Las piezas bucales habitualmente no son bien aceptadas, no pueden ser aplicadas a pacientes estuporosos, y no permiten al sanitario un buen control del paciente en presencia de problemas respiratorios. El sistema WENOLL contiene una pieza bucal y una pinza nasal, para usarla en casos especiales, pero en nuestra opinión, las piezas bucales no deberían recomendarse de forma general a la población, con la posible excepción de las personas que llevan barba o individuos con deformaciones faciales.

La **Mascarilla** tipo VENTURI, el sistema de administración de O_2 normobárico más disponible de forma habitual en los centros médicos y ambulancias, no incrementa de forma significativa los valores de $TcpO_2$ aunque se aplique de forma óptima y se ocluyan las ranuras de su regulador. Este sistema de administración de oxígeno, no es recomendable para los primeros auxilios en caso de trastorno disbárico.

La **Mascarilla de bajo flujo con bolsa reservorio tipo Monaghan** puede proporcionar mayor concentración de oxígeno y es el sistema recomendado a utilizar con las fuentes de oxígeno convencionales, cuando no se dispone de un regulador a demanda o de un sistema de circuito cerrado.

El **Regulador DAN-LSP** y el **SISTEMA WENOLL** proporcionan una alta concentración de O_2 de manera que pueden asegurar una eficaz desnitrógenización. Ambos sistemas deberían ser aconsejados a los centros de buceo como especialmente adecuados y efectivos en los primeros auxilios con O_2 .

Como consideración final de orden práctico apuntamos que aunque los dos sistemas son muy fáciles de utilizar, el regulador DAN-LSP permite una aplicación más rápida; sin embargo, al movilizar un alto flujo de O_2 se agotan de forma rápida las reservas de O_2 de las botellas que habitualmente son de pequeña capacidad.

El SISTEMA WENOLL, al disponer de un circuito cerrado, puede proporcionar más de 4 horas de oxígeno con una botella de 2 litros de capacidad, si se utiliza correctamente. La elección de uno u otro dependerá de las condiciones locales y personales, como la distancia a un centro hiperbárico, la disponibilidad, y las posibilidades de recarga de las botellas. El regulador DAN-LSP puede ser más adecuado para una aplicación inmediata y el SISTEMA WENOLL para el transporte. El regulador multifuncional DAN-LSP tiene también un caudalímetro que permite proporcionar un bajo flujo donde se puede conectar con facilidad el SISTEMA WENOLL. Así pues la combinación de ambos sistemas de administración de O₂ sería lo más fácil, útil y versátil en situación de emergencia por un Accidente Disbárico.

Barcelona, enero-febrero de 1995