

MECANISMO DE ACCIÓN DEL OXIGENO HIPERBÁRICO

La oxigenoterapia hiperbárica (OHB) es un tratamiento que consiste en que el paciente respire oxígeno puro en el interior de una cámara a presión mayor que la atmosférica (cámara hiperbárica) la aplicación tópica del oxígeno, mediante una pequeña cámara, o bolsa para los pies (las piernas o los brazos) no es oxigenoterapia hiperbárica, ya que los efectos que provoca a nivel de los tejidos, no son comparables con los de la OHB.

La teoría que predominaba en la medicina hasta los últimos tiempos, sostenía que el oxígeno hiperbárico tendría la misma acción que el oxígeno normobárico. Según este concepto, el oxígeno eliminaba la hipoxia tisular, se admitía que la acción antihipoxica del OHB era mayor que la del oxígeno normobárico.

Hay efectos del OHB que superan su acción antihipoxica. También hay muchas observaciones que todavía esperan su aclaración

Existen dos efectos principales de la oxigenoterapia hiperbárica (OHB)

1. El efecto mecánico volumétrico producido por la presión aumentada a la cual está expuesto el organismo. este efecto es muy útil en la reducción del tamaño de las burbujas de gas que pueden contener los tejidos como consecuencia de un accidente de buceo o iatrogenia (embolismo gaseoso en las intervenciones quirúrgicas u otros procedimientos terapéuticos).
2. El segundo efecto es solumétrico, debido a la mayor presión parcial de oxígeno en los tejidos. Es multifacético, a estas presiones el oxígeno se manifiesta como un fármaco con indicaciones específicas y posibles efectos adversos.

EFFECTOS MECÁNICOS DE LA PRESIÓN

La presión es la suma de las fuerzas que actúan uniformemente sobre la superficie de un objeto. El cuerpo humano comúnmente está sometido a la presión atmosférica que es una atmósfera a nivel del mar. Una atmósfera equivale a 760mm hg (torr) o a 101325 pa (pascales =newton /m²) o a 1,03 kg/cm² o 14,7psi (libras por pulgadas cuadradas). En la oxigenoterapia hiperbárica se utilizan presiones relativamente bajas (que superan la presión atmosférica hasta 3 veces) en comparación con el buceo en profundidad (en donde el cuerpo humano está sometido a altas presiones incluso superiores a 20 atmosferas). Como la experiencia de someterse a presiones mayores que la atmosférica proviene del buceo, se utilizan también unidades típicas del buceo –metros de agua de mar o pies de agua de mar son unidades de presión y no de profundidad. Una columna de agua de 10 metros o 33 pies ejerce una presión contra el cuerpo de un buzo de aproximadamente una atmosfera. Si el buzo se encuentra a 10 metros de profundidad su cuerpo experimenta una presión de 10 metros de agua más la presión atmosférica en total son 2 atmósferas absolutas (atm . abs. O ATA) del mismo modo se mide la presión en la cámara hiperbárica. Para aclarar la relación entre estas unidades proponemos la siguiente tabla:

ATA	1	2	3
Mm hg	760	1520	2280
Kpa	101,3	202,6	303,9
Kg/cm ²	1,03	2,06	3,09
Psi	14,7	29,4	44,1
Msw	0	10	20
Fsw	0	33	66
bar	1,013	2,026	3,039

Tabla 1-1 ATA significa atmosfera absoluta; mm hg o torr = milímetros de mercurio; kpa = kilopascales ; kg /cm² = kilogramos sobre centímetros cuadrados ;psi = pounds per square inch = son libras por pulgadas cuadrada ; msw = meters of sea wáter = metros de agua de mar ; fsw =feet of sea wáter = pies de agua de mar ;bar = barometer unit =bares

El cuerpo humano está compuesto de agua, y como los líquidos no se comprimen, no es compresible. No es así con la cavidad que contienen gas o aire. Según la ley de boyle - mariotte el volumen de gas a temperatura constante es inversamente proporcional a la presión absoluta que soporta.

De acuerdo con lo mencionado, cualquier volumen del gas (aire, mezclas u oxígeno puro en los pulmones, vías aéreas, en los senos paranasales, en el oído medio y en el intestino) se comprime como el aumento de presión. Esta reducción de volumen de gas es terapéutica en la enfermedad por descompresión por producirse la disminución del tamaño de las burbujas de gas con la compresión, permitiendo aliviar la distensión de los tejidos y mejorar la perfusión

Cada sesión de tratamiento en cámara hiperbárica tiene cuatro fases: la fase de compresión, la fase de isopresión (cuando la presión está en meseta); la fase de compensación y la fase de post- presurización o post-tratamiento.

Como el paciente y/o buzo respira durante la compresión, la presión de gas (aire, mezclas u oxígeno) en los pulmones se equilibra con la presión externa. No hay problemas con el intestino, porque este tiene las paredes blandas, que se adaptan a la presión. El volumen de gas en el intestino durante la compresión disminuye sin causar molestia alguna cuando el paciente sufre de flatulencias (meteorismo), empieza a sentir un alivio en cámara hiperbárica durante la fase de compresión, por disminuir el volumen del gas en el intestino. Los senos paranasales y el oído medio pueden presentar cierto problemas, porque tienen las paredes rígidas, que no se colapsan con el aumento de la presión exterior

y si el paciente en la cámara hiperbárica durante la compresión o el buzo durante el descenso no controlan los cambios de la presión en el oído medio, la menor presión dentro de esta cavidad puede producir hemorragia y trasudación de linfa hacia su interior, o rotura de la membrana timpánica. Antes de someter al paciente al tratamiento en la cámara hiperbárica se deben dar las instrucciones pertinentes. A un paciente que se encuentra en como comúnmente se le realiza miringotomía antes de tratarlo. Es decir que estas complicaciones en mayoría de los casos son evitables.

Durante la compresión el ingreso del gas (O₂-aire – mezclas) al organismo se realiza a través de las vías aéreas y de estas al alveolo pulmonar, produciéndose en este nivel el intercambio gaseoso con la sangre. El gas inhalado pasa a través del surfactante pulmonar a los capilares alveolares, venas pulmonares, al corazón y con la circulación a todos los tejidos, desplazándose desde el lugar de mayor presión hacia el lugar de menor presión por difusión, hasta que se produzca el equilibrio de presiones de dicho gas en el ambiente con la presión de este gas en los tejidos.

Los gases se disuelven en los líquidos obedeciendo a la ley Henry, que dice: a temperatura constante, un gas en contacto con un líquido sobre el cual no ejerce acción química, es disuelto en este líquido en cantidades proporcionales a su presión parcial.

Durante la fase de isopresión no hay cambios de la presión de gas en el organismo, pero hay cambios en la composición gaseosa. Tanto los gases intestinales, como aquellos producidos en los tejidos por microorganismos anaerobios causantes de la gangrena gaseosa, son reemplazados por el oxígeno, mecanismos imperceptibles por el paciente sometido a la oxigenoterapia hiperbárica.

Durante la fase de descompresión ocurre lo inverso a la compresión. La presión parcial de los gases se hace menor afuera del organismo en el transcurso de la descompresión. El organismo esta desaturandose de los gases, porque el gas disuelto en los tejidos pasa a la sangre para ser

expulsado con la respiración, siempre desplazándose de mayor presión parcial de gas hacia menor presión parcial si la descompresión se hace demasiado rápido, sin dar tiempo a su expulsión, el gas disuelto puede pasar directamente a la fase gaseosa en la sangre y en los tejidos formando burbujas de un gas inerte es la base de aparición de una enfermedad que se llama enfermedad por descompresión y que ocurre en ocasiones en el buceo o en el trabajo en los recintos a presión. (Trabajo en caisson o cámara de aire comprimido). Al producirse los síntomas de esta enfermedad, el individuo debe ser represurizado inmediatamente, en una cámara hiperbárica, para proceder a la descompresión en forma adecuada.

Esta enfermedad no se produce durante el tratamiento en cámara hiperbárica, con los pacientes que respiran oxígeno, por ser el oxígeno un gas que participa en el metabolismo del cuerpo y se consume en los tejidos. Además su solubilidad en plasma es mayor que la del nitrógeno. Aquellas personas que se encuentran dentro de la cámara, pero no respiran oxígeno si no el aire interno, pueden sufrir esta enfermedad si la descompresión se realiza demasiado rápido (enfermeros, técnicos, médicos acompañantes).

Los efectos mecánicos de la descompresión son desfavorables para el oído medio; como en la compresión puede producirse un barotrauma del oído si el paciente no compensa los cambios de la presión con algunas maniobras (tragos en seco, bostezos, maniobra de Valsalva, etc.) el efecto desfavorable de la descompresión sobre los oídos es menor que el de la compresión, por abrirse la trompa de Eustaquio con una diferencia de 35 mm Hg entre el oído medio y el ambiente, aunque esto a veces no resuelve el problema, es probable el barotrauma de los senos paranasales y de los pulmones con formación de neumotórax, si el paciente por alguna razón retiene la respiración durante la descompresión. O tiene bullas en los pulmones que pueden presentar un lugar de menor resistencia y romperse con los cambios de volumen. Pueden ocurrir hemorragias: la diferencia de presión produce distensión de los vasos sanguíneos en el área de menor presión. En la fase de post

–presurización después de la sesión de oxigenoterapia hiperbárica durante un tiempo en los tejidos se queda mayor cantidad de oxígeno. ¿Cuánto tiempo permanece el oxígeno en los tejidos?

De un tratamiento al otro el tiempo de “lavado” del exceso de oxígeno de los tejidos se reduce manifiestamente. Después de las primeras exposiciones este tipo es de casi 4 hs y a partir de la séptima sesión el tiempo se reduce a media hora.

El aire que respiramos es una mezcla de gases que al nivel de mar contiene 20,84% de oxígeno, el 78,09% de nitrógeno, 0,93% de argón, 0,03% de anhídrido carbónico, vapor de agua y pequeñas cantidades de neón, helio, criptón, hidrógeno, xenón, ozono y radón. Según la ley de Dalton, a la misma temperatura la presión total de una mezcla gaseosa es igual a la suma de las presiones parciales que ejercerán sus componentes si cada uno de ellos ocupara individualmente el volumen total de la mezcla. Durante el tratamiento de cámara hiperbárica, en los protocolos de la oxigenoterapia hiperbárica habitualmente se respira oxígeno puro.

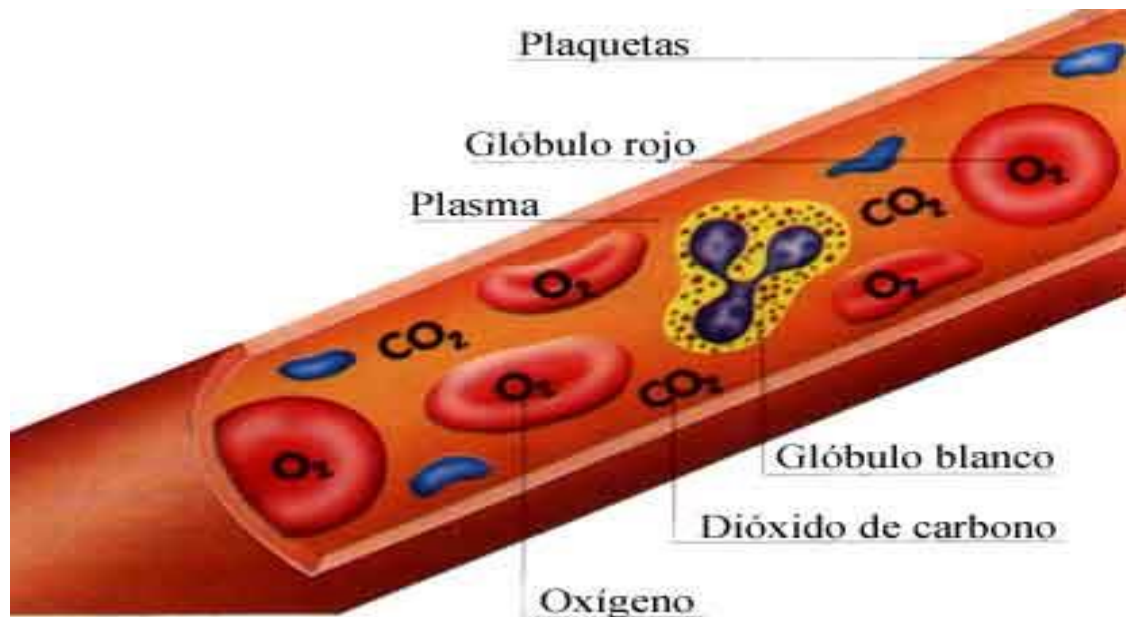
En el buceo a grandes profundidades se pueden observar efectos tóxicos de los gases, respirando aire por debajo de 30 -40 metros, se puede producir narcosis por nitrógeno. Este estado se caracteriza por euforia, parecida a la intoxicación etílica, con disminución de la capacidad psíquica y motora. El buceo con oxígeno puro no se realiza en profundidades mayores de 9 metros por el peligro de producir intoxicación por oxígeno con convulsiones generalizadas e inconsciencia, similar al Grand mal de la epilepsia. La intoxicación por oxígeno es una complicación muy rara de la oxigenoterapia hiperbárica pero no debe ser olvidada.



SOLUBILIDAD DEL OXIGENO EN PLASMA

Como ya hemos mencionado, según la ley de Henry, el gas que se encuentra sobre un líquido se hace proporcionalmente más soluble en ese líquido a medida que aumenta la presión que este ejerce sobre el líquido. Respirando aire nivel del mar (1 ATA) el hombre tiene 0,3 ml de oxígeno disuelto en cada 100ml de sangre arterial. Respirando oxígeno puro a 2 ATA el paciente tiene 3-4 ml de oxígeno disueltos en cada 100 ml de sangre y con 3 ATAS la cantidad de oxígeno disuelto e sangre aumenta a 5-6 ml. estos 6 ml de oxígeno equivalen a la diferencia en la cantidad de oxígeno entre la sangre arterial y venosa , el contenido de oxígeno son los que el organismo utiliza en reposo entonces , respirando oxígeno puro a 3 ATA , se crean condiciones cuando la cantidad de oxígeno que contiene el plasma es suficiente para satisfacer las necesidades del organismo: la hemoglobina queda saturada con oxígeno en sangre arterial y venosa.

Con el incremento de la presión parcial de oxígeno en sangre aumenta la presión parcial del oxígeno en los tejidos. De esta mayor presión parcial de oxígeno tisular dependen los efectos de la oxigenoterapia hiperbárica sobre los órganos y sistemas. Por ejemplo la supresión de la producción de la alfa toxina por los clostridios en la gangrena gaseosa, el aumento de la actividad fagocítica de los polimorfonucleares. La disminución de adherencia de los leucocitos a la pared vascular en la injuria de isquemia –reperfusion, la estimulación de la producción de la superóxido dismutasa, etc.

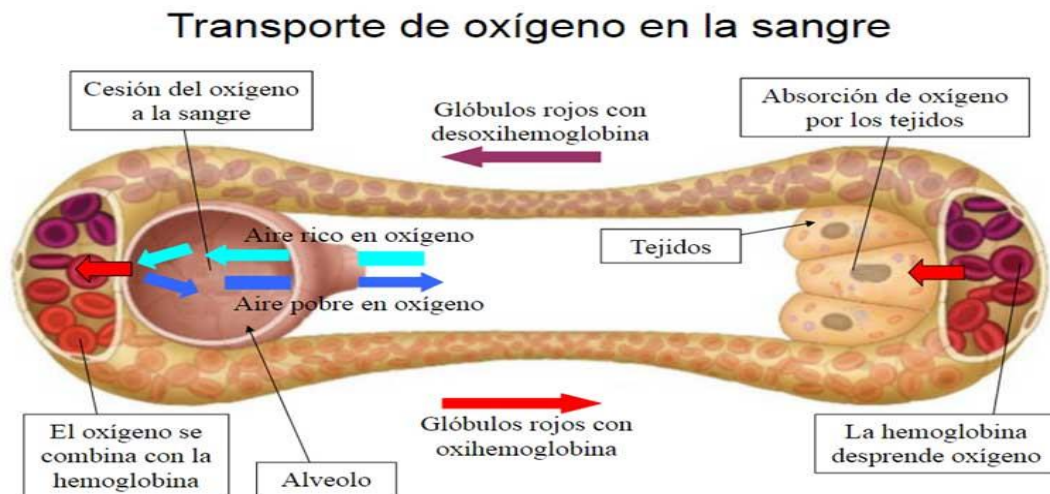


RETENCIÓN DEL ANHÍDRIDO CARBÓNICO (DIÓXIDO DE CARBONO)

Una pregunta muy común es: si la hemoglobina queda saturada con Oxígeno, que pasa con el anhídrido carbónico? se retiene muy levemente en los tejidos por el efecto haldane, pero es 50 veces más soluble que el oxígeno. Se transporta a los pulmones disuelto en sangre y como ácido carbónico es compensado por el bicarbonato con una disminución mínima del PH prácticamente, este efecto no tiene relevancia clínica.

INTERCAMBIO DE GASES ENTRE LA SANGRE Y LOS TEJIDOS.

El transporte común del oxígeno es vía hemoglobina cuando los glóbulos rojos llegan a los capilares de los tejidos , encuentran un territorio con menor presión parcial de oxígeno , entonces entregan este gas el contenido del dióxido de carbono es más alto en los tejidos que en la sangre , por eso el dióxido de carbono se difunde de los tejidos a la sangre , y el oxígeno a la inversa , de la sangre a los tejidos (siempre desde la mayor hacia la menor presión parcial)en las condiciones hiperbáricas, la presión parcial de oxígeno en sangre es mucho mayor que respirando aire en condiciones normales .la mayoría de los protocolos de los tratamientos utilizan 2-3 ATA(0,202-0,303mpa), con lo que la presión de oxígeno en sangre arterial llega a 1200-2000mm hg . La presión parcial del oxígeno más alta lo hace difundir a mayor distancia y en mayor cantidad en los tejidos. Si normalmente las presiones subcutáneas del oxígeno (ptO₂) son de 30 -50 mm hg, respirando oxígeno puro a 1 ATA, estos valores suben a 90- 150mm hg a 2 ATA – son de 200-300 mm hg y pueden superar estos valores cuando se respira oxígeno puro a 3 ATA.



RESPIRACIÓN CELULAR

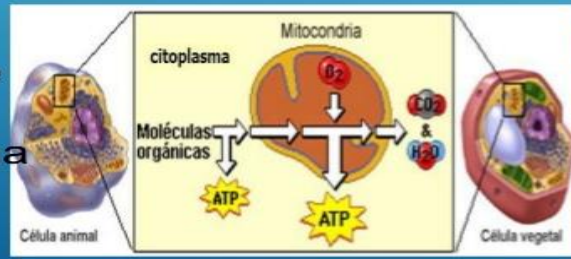
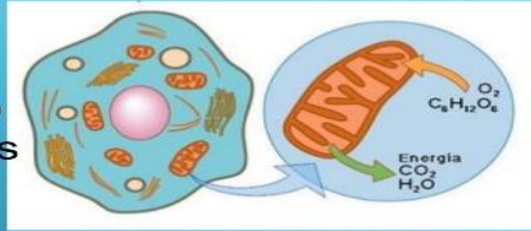
La energía del catabolismo de los alimentos está guardada en el organismo en los enlaces macroenergéticos del adenosintrifosfato (ATP), el cual se encuentra en las células. Sus depósitos son limitados, exigiendo al organismo a producir en cada momento nuevas moléculas de ATP por oxidación de los carbohidratos, grasas y en menor proporción proteínas. En una primera etapa se rompen las grandes moléculas, formando componentes más sencillos las proteínas se convierten en aminoácidos, los carbohidratos en azúcares sencillos y las grasas en ácidos grasos. En una segunda etapa, estas moléculas son, a su vez, desgradadas para formar el piruvato y la acetil coenzima a (acetil-coA)

Dentro de las mitocondrias la acetil – coA entra al ciclo de Krebs o ciclo de los ácidos tricarboxílicos, un paso muy importante del catabolismo oxidativo. La finalidad de este ciclo consiste en proporcionar un gran número de hidrogeno , que entran en la cadena respiratoria mitocondrial para ser oxidados por el oxígeno , y así dar finalmente moléculas de agua y obtener ATP en el proceso.

Cada vez que un electrón es entregado al oxígeno molecular, se produce la energía equivalente a la fosforilación de ADP a ATP. Este proceso requiere de 0.5 a 3 mm hg de presión parcial de oxígeno, y este nivel es normal para los espacios internos de las mitocondrias. Para alcanzar este nivel en las mitocondrias se requieren no menos de 30 mm hg de oxígeno en los tejidos (p_{O_2}). Los procesos energéticos siguen sin afectarse cuando las presiones parciales de oxígeno suben hasta 300mm hg; con valores más altos de p_{O_2} el consumo de oxígeno en las mitocondrias baja y empiezan las manifestaciones de intoxicación por oxígeno.

RESPIRACIÓN CELULAR

La respiración celular es un proceso en el cual hay un continuo intercambio de gases entre la célula y el exterior, en el que entra oxígeno y se expulsa CO₂. Este proceso se realiza mediante el sistema respiratorio.



REQUERIMIENTOS DE LOS TEJIDOS EN OXIGENO

Para el funcionamiento normal de la cadena respiratoria los tejidos requieren la presencia constante del oxígeno molecular. Aproximadamente un 90% de oxígeno se utiliza en la fosforilación oxidativa con formación de moléculas de ATP ricas en energía, un 9% se gasta en remover el hidrogeno en los procesos de oxidación de aminoácidos y un 1 % se incorpora en las moléculas durante la oxidación de las amins biógenas y las hormonas.

LOS EFECTOS TERAPEUTICOS DE LA OHB

El oxígeno bajo presión mayor que la atmosférica produce varios efectos terapéuticos, de los cuales los más estudiados son los siguientes:

1. Revierte el estado hipóxico, recupera la producción de energía por la célula.
2. Influye sobre la contracción – dilatación de los vasos sanguíneos.
3. Reduce el edema
4. Aumenta la tolerancia de la isquemia por el cerebro, disminuye la presión endocraneana.

5. Reduce la frecuencia cardiaca un 10-15%
6. Aumenta la diuresis.
7. Produce un efecto hipoglucemiante.
8. Controla la infección inhibiendo las bacterias anaerobias.
9. Interfiere con el proceso de algunas enfermedades microbianas (mionecrosis clostridial)suprimiendo la produccion de toxinas por gérmenes.
10. Acelera la fagocitosis.
11. Potencia la acción de algunos antibióticos.
12. Modifica a farmacocineta y farmacodinamica de algunos medicamentos.
13. Algunos fármacos modifican el efecto de O₂ sobre el organismo.
14. Desbloquea la hemoglobina. Mioglobina y citocromo oxidasa inactivas por el monóxido de carbono.
15. Modifica la respuesta inmune del organismo.
16. Modifica el efecto de los factores de crecimiento y citoquinas mediante la regulación de sus niveles o de los receptores celulares para estas sustancias.
17. Aumenta la producción de colágeno
18. Promueve la proliferación celular
19. Estimula la neoangiogenesis
20. Modula la producción del oxígeno nítrico.
21. Aumenta la captación de las especies reactivas del oxígeno reduciendo la injuria de isquemia reperfusión.
22. En protocolos terapéuticos aumenta la actividad del sistema antioxidante del organismo.
23. Inhibe la adhesión de los neutrófilos a los vasos sanguíneos en diferentes patologías, así mismo se manifiesta la disminución de las lesiones posteriores.
24. Las especies reactivas del oxígeno producen señalización en diferentes procesos fisiológicos y patológicos.
25. Aumenta la sensibilidad a radio y quimioterapia de las células cancerígenas.
26. Moviliza las células madre de la medula ósea.