**RESPUESTAS CARDIOVASCULARES A LOS CAMBIOS DE PRESIÓN EXTERNA**

**1. RESPUESTAS A LAS CONDICIONES HIPOBÁRICAS (ALTITUD)**

La disminución en la presión barométrica se puede conseguir mediante el ascenso con respecto al nivel del mar o en una cabina hipobárica.

* **Problemas**:

Con la altitud va disminuyendo la presión barométrica y con ello la presión parcial de oxígeno (la fracción de oxígeno en el total de gases atmosféricos no varía (21%), pero si la cantidad ya que disminuye el total de gases) y por tanto el organismo tiene menor oxígeno y entra en situación de **hipoxemia** (disminución de oxígeno en sangre) y de **hipoxia** (**hipoxia de altura**), que se agrava durante el esfuerzo de subida. hay un incremento general del trabajo y por tanto del consumo de O2.

Se produce lo que se denomina el **mal de montaña agudo (mma) o sorojchi.** El **mal agudo de montaña (MAM)** es la falta de adaptación del organismo a la hipoxia (falta de oxígeno) de la altitud; que se puede ver agravado si el sujeto padece alguna patología CV.

**Hay que distinguir entre la respuesta CV inmediata y la de aclimatación** **o adaptación**.

* 1. **RESPUESTAS CARDIOVASCULARES**
		1. **RESPUESTA INMEDIATA**

En la respuesta inmediata hay que tener en cuenta cómo se llega a la hipoxia de altura (sin olvidar el componente de estrés que se da en todas ellas):

🡪Estrés de altura: Debido a la altura y el descenso de  O2 el organismo produce una reacción fisiológica en la que entran en juego diversos mecanismos de defensa para afrontar esa situación amenazante.

Aquí proponemos algunos ejemplos comunes de respuesta cardiovascular inmediata:

* Por ascenso a pie.
* En vehículo de transporte.
	+ En un vehículo más lento (mula, carro, coche, etc.)
	+ En un vehículo más rápido (avión).
* En cabina hipobárica de Gamow. Una persona descansa y duerme en una pequeña cámara cuya presión total del aire puede reducirse para simular la presión barométrica de una altura dada. las reducciones de la presión barométrica ocasionan reducciones proporcionales de la PPO2 del aire inspirado.

La respuesta cardiovascular (cv) inmediata consiste en:

* **Incremento inmediato de la frecuencia cardíaca.** A elevaciones por encima de los 2300 metros, los ajustes fisiológicos rápidos compensan el aire menos denso y la reducción de la presión de oxígeno alveolar. Una de las respuestas más importantes es la hiperventilación, que desencadena un aumento del impulso respiratorio, con lo que aumenta la frecuencia cardiaca respiratoria, al mismo tiempo que constituye la primera línea de defensa inmediata frente a la exposición a la altura y, por tanto:
	+ También aumenta la frecuencia respiratoria.
* **Volumen sistólico no varía o se reduce algo.** Porque el sistema vascular responde a los cambios de presión mediante vasoconstricción y vasodilatación. La sístole es solo fuerza de eyección y capacidad contráctil del corazón mientras que la diástole se basa en el llenado cardiaco aumentado ante procesos de dilatación.
* **Incremento del gasto cardíaco (a un máximo en 5 días).** Como hemos dicho anteriormente, si la frecuencia cardiaca aumenta, también lo hace el gasto cardiaco, ya que es uno de los factores que modifica el gasto cardiaco.
* **Incremento de la Pa** **(aunque se hace evidente a partir de los 6000 m.)** A pesar de toda la respuesta simpática que se produce durante la fase de adaptación, se ha comprobado que, de forma general, la presión arterial se aparta muy poco de la normalidad hasta una altura de 6000 metros
	+ **Por el esfuerzo.** Con el esfuerzo físico la presión arterial puede ascender ligeramente, en parte por la descarga adrenérgica, pero también por el aumento de la viscosidad sanguínea por deshidratación.
	+ **Respuesta simpática (incrementa la** RPT). La presión arterial es controlada por el gasto cardiaco y por la resistencia periférica total. Por lo tanto, si aumenta la presión arterial (Pa), a través de la respuesta simpática se produce un incremento de la resistencia periférica total.
	+ **Incremento de la viscosidad sanguínea por deshidratación**. Incrementa la Viscosidad por el incremento del hematocrito.
	+ **El frío.** Las temperaturas frías de las grandes alturas causan la evaporación de una cantidad considerable de agua del organismo al calentarse y humedecerse en las vías respiratorias. Esta pérdida de líquido produce una deshidratación moderada del organismo.
* **Vasodilatación por hipoxia a partir de los 5000 m que compensa el incremento de la viscosidad.** La hipoxia renal produce un incremento en la liberación de quininas y prostaglandinas que conlleva a una vasodilatación incrementada.
* **Vasoconstricción pulmonar como resultado de la hipoxia alveolar.** Como consecuencia la presión pulmonar aumenta, así como también el trabajo efectuado por el corazón derecho. Esto es incrementado por la policitemia, que aumenta la viscosidad de la sangre.
	+ Cambia el tono de cierre de la válvula pulmonar
	+ Facilita una mejor redistribución hemato-alveolar y mejor captación de oxígeno.
* **Poliglobulía inmediata por deshidratación.** La poliglobulía es el aumento de la masa de glóbulos rojos.
	+ Sequedad del ambiente ya que el vapor de agua que forma parte de los gases atmosféricos también disminuye con la altura, lo que produce una deshidratación que conlleva la reducción de la PO2 arterial y con ello aumenta el número total de glóbulos rojos.
	+ EPO provoca policitemia o poliglobulía que compensa el descenso de la PO2 arterial.
* **La hipoxia renal activa el sistema renina-ANG** **con incremento de la Pa,** **sobre todo de la Pad.** Cuando el aparato yuxtaglomerular detecta que hay bajo flujo plasmático renal o hipoxia, produce Renina para activar el sistema Renina-Angiotensina-Aldosterona que genera potentes vasoconstrictores periféricos que aumentan la presión arterial, garantizando, en teoría, un mayor flujo renal.

**1.1.2. RESPUESTA ADAPTATIVA O DE ACLIMATACIÓN**

Una persona que permanece a gran altura durante varios días se aclimata. De este modo consigue menos efectos perjudiciales para su organismo y puede trabajar más y mejor sin efectos hipóxicos.

* **Problemas**:

El sujeto que vive a más de 3000 m (PB = 526 mm hg y PO2= 110,4 mm Hg (más de 40 millones) tiene su fisiología general adaptada a las condiciones hipóxicas de esas altitudes.

Además de otros factores que hay que tener en cuenta como son la sequedad del aire, el frío, la alimentación y las costumbres.

Los que viven en altitudes mucho menores y tienen que permanecer un tiempo a altitudes elevadas sufren, después de las respuestas inmediatas al cambio de altitud,  una serie de cambios fisiológicos adaptativos o de aclimatación que a continuación se detallan en lo referente al sistema CV:

* **Hipertrofia ventricular derecha**. La presión pulmonar aumenta, así como también el trabajo efectuado por el corazón derecho. Esto es incrementado por la policitemia, que aumenta la viscosidad de la sangre. Entonces se ve hipertrofia del corazón derecho, con cambios característicos del electrocardiograma, que consisten en la desviación de la onda QRS hacia la derecha.
	+ Por el incremento de la PAP, la cual no revierte totalmente ante el suministro de O2.
	+ Desviación de la onda QRS hacia la derecha.
* **A los 12 días el GC** **retorna a los valores previos a la subida.** Al cabo de algunos días de estancia en altitud, lo músculos comienzan a extraer más oxígeno de la sangre lo cual reduce la demanda de un mayor GC, disminuyendo a su vez la necesidad de un mayor ritmo del corazón. Después de 10 días de estancia en altitud, el gasto cardíaco durante la realización de una determinada sesión de ejercicio es menor de lo que era a nivel del mar antes de que se produjesen estas adaptaciones a la altitud.
* **La aurícula derecha secreta pna que además de sus efectos renales diuréticos, también actúa reduciendo la contracción vascular pulmonar.** El PNA ejerce su efecto natriurético disminuyendo la respuesta del músculo liso vascular a muchas sustancias vasoconstrictoras, es decir, relaja el músculo liso vascular en las arterias y venas. Por ello, actúa también reduciendo la contracción vascular pulmonar.
* **Se incrementa el número de glóbulos rojos (en 48 horas) debido a la hipoxia renal, sin que el incremento de viscosidad sanguínea suponga un mayor esfuerzo cardíaco. Por el contrario éste baja por llevar mayor contenido de O2** **la sangre (también disminuye el trabajo respiratorio).** La hipoxia renal lleva a cabo una vasodilatación incrementada, además de la liberación de EPO, hormona que estimula la producción de eritrocitos en circulación durante las primeras semanas de estancia en altitud. Antes de pasadas las 3 h desde la llegada a dicha altitud, la concentración de eritropoyetina en sangre aumenta, alcanzando un máximo antes de pasadas 24 o 48 horas. Si aumenta el número de glóbulos rojos, se incrementa la cantidad de O2 que llega a la sangre, por lo que el incremento de viscosidad sanguínea no supone un mayor esfuerzo cardíaco.
* **El riego coronario no se modifica e incluso disminuye (a pesar de una mayor vascularización), pero se optimizan los mecanismos de extracción de oxígeno manteniéndose el metabolismo aeróbico.** La vascularización miocárdica y de las anastomosis intercoronarias está incrementada en las grandes alturas mas no así el flujo que incluso se encuentra ligeramente disminuida. Por otro lado se ha descrito cambios enzimáticos y metabólicos que ocurren en la intimidad de la célula miocárdica. Como consecuencia de estas modificaciones se ha demostrado que la extracción de oxígeno por el miocardio está aumentado y que el metabolismo del miocardio se realiza utilizando vías aeróbicas, tal como a nivel del mar. Por esto en la altura casi no hay infarto del miocardio.
* **Hay evidencias de un incremento del tamaño del cuerpo carotídeo.** Se ha demostrado que el cuerpo carotídeo de animales que viven en la altura tiene un mayor tamaño que el correspondiente a animales que viven a nivel del mar. Aparentemente este incremento es una respuesta del tejido quimiorreceptor del cuerpo carotídeo a la hipoxia crónica.

**Normalmente el sistema CV vuelve a sus valores originales, tras un periodo de adaptación, una vez que el sujeto regresa a la situación inicial de partida.**

La mayoría presenta alteraciones como la hipertensión arterial pulmonar y cardiomegalia derecha con posible derrame pleural, pericárdico, regurgitación tricuspídea y pulmonar, hipertensión arterial sistémica y en menor medida presiones elevadas de llenado ventricular izquierdo.

**2. RESPUESTAS A LAS CONDICIONES HIPERBÁRICAS**

Cuando se está inmerso en agua, el cuerpo se halla sometido a una mayor presión. Esta situación es la que determina un ambiente hiperbárico (elevada presión atmosférica). Esta presión es la resultante del peso de la columna de líquido, de la gravedad y de la densidad del líquido (Ph: h x g x d). De esta manera, cada 10 metros de profundidad la presión aumenta 1 atmósfera. Por lo tanto, por ejemplo a 20 metros de profundidad se soportan 3 atm (1 atm de aire + 2 atm de agua).

Tampoco hay que olvidar los posibles cambios de temperatura y el estrés se produce por encontrarse en entornos hostiles.

Estas condiciones se pueden generar tanto en las actividades subacuáticas como en una cabina hiperbárica.

En cuanto a las condiciones subacuáticas, hay que distinguir entre el término *inmersión* que significa introducir todo el cuerpo bajo el agua y el término *buceo* que implica además desplazamiento.

El buceo puede considerarse como un ejercicio de tipo mixto (isométrico (estático) e isotónico (dinámico)) moderado con un metabolismo mixto.

 **2.1. PROBLEMAS EN UN AMBIENTE SUBACUÁTICO**

1. **Disminución de la disponibilidad de O2.**

El oxígeno tiene una elevada presión parcial, lo cual genera una alteración sobre el transporte normal de dicho gas. Cuando la presión parcial de oxígeno se eleva por encima de los 100 mm Hg, la cantidad de este gas disuelto en el agua de la sangre aumenta notablemente (normalmente la mayor proporción de oxígeno viaja unido a la hemoglobina). Esta situación hace que este oxígeno disuelto ya cubra las necesidades de dicho gas para el cuerpo en reposo. Por este motivo, el oxígeno no se disociará de la hemoglobina al pasar por el lecho capilar tisular. De esta manera, la hemoglobina de la sangre venosa estará saturada de oxígeno, lo cual interferirá con la cantidad de iones H capturados por la Hb. Así, el CO2 que entra en la sangre desde el metabolismo de las células elevará la presión de dióxido de carbono sanguínea y la concentración de H+ será a mayor que en condiciones normales donde la desaturación de la HbO favorece simultáneamente la remoción de iones H+. El resultado final será una retención de dióxido de carbono en los tejidos y acidosis.

1. **Aumento de la producción de CO2.**

En cuanto al dióxido de carbono, es importante saber que la profundidad por si sola no aumenta la presión parcial de dicho gas en los alvéolos, debido a que la profundidad no aumenta la producción del mismo en el organismo. El único problema que se produce, como ya fue anteriormente explicado, es como consecuencia de la falta de disociación de la oxihemoglobina a su paso por los tejidos, con lo cual el CO2 no podrá unirse a dicha proteína y se acumulará en sangre, generando una acidosis.

1. **Disminución de la temperatura.**
2. **Incremento de la presión externa (1 atm por cada 10 m).**

La presión ejercida sobre un cuerpo sumergido se transmite a las cavidades que contienen gas únicamente (dado que el agua es prácticamente incompresible): pulmón, vísceras digestivas, senos paranasales y oído medio. De por sí, la presión relativamente alta, es inocua, siempre que se equilibre. Sin embargo, si una cavidad que contiene gas como las anteriormente nombradas, no se comunica con el exterior, esta diferencia de presión puede provocar compresión de sus volúmenes gaseosos durante el descenso o la sobreexpansión durante el ascenso, dado que el volumen y la presión son inversamente proporcionales.

El aire que respiramos en la superficie se comprimirá a la mitad de su volumen cuando descendemos a una profundidad de 10 m. A la inversa, el aire introducido en nuestros pulmones a esa profundidad se expandirá hasta el doble de su volumen original cuando lleguemos a la superficie del agua.

1. **La emersión rápida genera problemas por la expansión de los gases de baja solubilidad (nitrógeno) en sangre que generan burbujas (embolias gaseosas).** Los gases a los que está expuesto el buceador que respira aire son normalmente nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono, y cada uno de ellos puede ejercer graves efectos fisiológicos a presiones altas. Así, fisiológicamente el nitrógeno difunde a los tejidos del cuerpo en forma lenta, debido a su baja solubilidad y, una vez disuelto, también abandona el cuerpo lentamente, cuando la presión se reduce a 760mm Hg. Es por este motivo que la velocidad de ascenso no debe superar los 9 metros por minuto para que la eliminación de este gas se produzca adecuadamente.
2. **En la inmersión y el buceo se produce estrés que activa el simpático.**
3. **Acumulación de lactato debido al incremento del metabolismo anaeróbico.**

**2.2. RESPUESTAS CARDIOVASCULARES**

**2.2.1. INMERSIÓN Y BUCEO EN APNEA (“*apnea*”: suspensión voluntaria del acto respiratorio)**

* **Interpretación de la gráfica.** El [sistema](http://www.monografias.com/trabajos11/teosis/teosis.shtml) cardiovascular sufre numerosos ajustes durante el buceo. La frecuencia cardiaca, el gasto cardiaco y el contenido sanguíneo de O2 disminuyen, pero el contenido de CO2 aumenta. Durante el periodo de recuperación posterior al buceo, aumenta enormemente el lactato en sangre; los otros parámetros muestran un efecto rebote, pero regresan gradualmente a [los valores](http://www.monografias.com/trabajos14/nuevmicro/nuevmicro.shtml) previos al buceo.
1. **Bradicardia del buceo (disminución del ritmo cardíaco) de tipo vagal:**
	1. Por inhibición refleja de la ventilación a partir de receptores faciales mediante vía vagal (parasimpática). Porque al seleccionar los vagos o al administrar atropina (que bloquea la [acción](http://www.monografias.com/trabajos35/categoria-accion/categoria-accion.shtml) de la acetilcolina) se elimina la respuesta.
	2. Activación baro y quimiorrefleja por la variación característica de los gases sanguíneos en apnea.
2. **Incremento del retorno venoso por aumento de la presión externa sobre las piernas y el abdomen, favorecido aún más por la vasoconstricción periférica si la temperatura exterior es inferior a 34°C.**
3. **Aumento de la precarga y del volumen sistólico.**
4. **Aumento del gasto cardíaco en un 30% para Tª < de 34°C.** Por aumento del volumen sistólico.
5. **Activación de la natriuresis y de la diuresis por el aumento de la precarga.** Se favorece la eliminación renal de líquido ya que las células auriculares y ventriculares liberan péptido natriurético auricular (PNA) que actúa sobre el riñón aumentando la eliminación de sodio y con él la del agua.
6. **Vasoconstricción cutánea, renal y esplácnica para mejorar el aporte de sangre a pulmones, corazón, cerebro y músculos activos:**
	1. Un descenso de O2 en la sangre arterial estimula los quimiorreceptores arteriales y, en ausencia de actividad de los receptores de estiramiento pulmonar, se produce la vasoconstricción. La ausencia de la actividad de los receptores de estiramiento pulmonar se debe al cese de la ventilación y a la compresión del pulmón conforme se desciende a mayor profundidad. En vez de la constricción arteriolar, son las arterias de mayor suministro las que se constriñen.
	2. Por el estrés en inmersión y buceo.
	3. Por la disminución de la temperatura.
7. **Incremento de la Pa y la poscarga.**
8. **Aumento del volumen plasmático.** Por la disminución de la hemoglobina y del valor hematocrito.
9. **Poco aumento de la concentración de ácido láctico de la sangre arterial pero gran elevación inmediatamente después de emerger.** Esto sugiere que el ácido láctico queda retenido en el músculo durante el buceo por restricción del flujo sanguíneo.

**2.2.2. BUCEO CON AIRE COMPRIMIDO**

1. **Bradicardia por incremento de la PO2.**
2. **Incremento de la Pa por incremento de la presión hidrostática e inspiratoria.**

**3. BIBLIOGRAFÍA**

* LÓPEZ CHICHARRO, J.; FERNÁNDEZ VAQUERO, A. “*Fisiología del ejercicio*”. 3ª ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 2008.
* GUYTON & HALL. “*Tratado de Fisiología medica”*. 12ª ed. Barcelona: Elsevier.
* JACK H. WILMORE, DAVID L. COSTILL. “*Fisiología del esfuerzo y del deporte”.* 4ª Ed. 2001, Editorial: Paidotribo.
* PER-OLOF ÄSTRAND, KAARE RODAHL, HANS A. DAHL, SIGMUND B. STRMME. *“Manual de Fisiología del Ejercicio”*. 4ª Ed. 2010, Editorial Paidotribo.
* WILLIAM D. MC ARDLE, FRANK I. KATCH, VICTOR L. KATCH. “Fundamentos de Fisiología del Ejercicio”. 2ª Ed. 2004, Editorial Mc Graw Hill/Interamericana de España S.A.U.
* http://www.kinesiouba.com.ar/docs/4/hipobaria\_hiperbaria.pdf
* http://www.monografias.com/trabajos7/fiha/fiha.shtml
* http://www.slideshare.net/Pauli.olivares/actividad-fsica-en-altura
* http://www.slideshare.net/samuriosa/fisiologa-de-la-adaptacin-a-las-grandes-alturas
* http://www.monografias.com/trabajos64/buceo-respuestas-cardiovasculares-mamiferos/buceo-respuestas-cardiovasculares-mamiferos2.shtml#xresp
* **¿Por qué se produce un elevado incremento de la concentración de lactato en sangre en el periodo de recuperación después de haber realizado buceo en apnea?**

Durante el buceo, la energía se obtiene mediante fuentes metabólicas aeróbicas con una estabilización del componente anaeróbico. Sin embargo, la apnea aumenta los valores de PCOi, junto al CO2 producido por el tamponamiento del lactato producido durante el buceo. Esta hipercapnia transitoria facilita la retención de lactato en el compartimento muscular. Sin embargo, un incremento de la ventilación en el tramo final de la actividad subacuática, junto con un fuerte esfuerzo anaeróbico, conduce a altos valores de lactato sanguíneo (lactatemia) al final de la actividad. De esta manera, se demuestra la relevancia del componente anaeróbico en el trabajo muscular característico del buceo.

**BIBLIOGRAFÍA**

* <http://www.apunts.org/watermark/ctl_servlet?_f=10&pident_articulo=13105600&pident_usuario=0&pident_revista=277&fichero=277v33n127a13105600pdf001.pdf&ty=160&accion=L&origen=apunts&web=www.apunts.org&lan=es>