

**• FISILOGIA :**

La forma como reacciona el cuerpo humano a la experiencia del buceo con scuba, es compleja y fascinante. De hecho, muchos buceadores lo encuentran el aspecto más interesante de la teoría del buceo. Sin embargo, haciendo caso omiso de los mecanismos específicos involucrados, los cambios en los buzos ocurren debido a 2 factores vitales:

- Los efectos mecánicos sobre los varios espacios de aire de nuestro cuerpo, ocasionados por los cambios rápidos de presión (efectos directos de la presión).
- Las consecuencias fisiológicas de respirar gases a presiones parciales más altas que en la superficie (efectos indirectos de la presión).

**Objetivos :**

Al finalizar esta sección, usted estará en capacidad de:

1. Explicar cual sustancia de la sangre ayuda en el transporte del oxígeno y en que componente está contenida.
2. Explicar como las técnicas de buceo y el equipo apropiado pueden ayudar a evitar el cansancio y la producción excesiva de CO<sub>2</sub>.
3. Explicar el mecanismo fisiológico por el cual la hiperventilación voluntaria permite a un buzo extender su tiempo de apnea.
4. Explicar el mecanismo fisiológico que causa el desmayo de "aguas poco profundas" "shallow water blackout" y por qué esta condición usualmente ocurre durante el ascenso en vez de en el descenso.
5. Explicar el mecanismo fisiológico que causa el "reflejo del seno carótido" y como afecta éste al buzo.
6. Explicar el efecto fisiológico del aumento en los niveles de monóxido de carbono (incluyendo el fumar cigarrillos) en los buzos y como pueden ser evitados.
7. Explicar el mecanismo fisiológico de la enfermedad de descompresión (EDC) y enumerar los factores comunes que pueden contribuir a su ocurrencia.
8. Definir el término "burbujas silentes" y su relación con la enfermedad de descompresión.
9. Explicar por qué los individuos con enfermedad de descompresión son

tratados con oxígeno puro como medida de primeros auxilios.

10. Explicar la causa de la nitronarcosis, definir la profundidad aproximada a la cual ocurre el desorden y enumerar tres signos/síntomas comunes.
11. Definir el término "barotrauma" y como puede ocurrir en los pulmones, senos y oídos del buzo durante el ascenso y el descenso.
12. Definir el término "vértigo" y explicar el mecanismo por el cual éste ocurre normalmente en el buzo.
13. Describir la anatomía básica del oído y cuales áreas/estructuras son más afectadas por los cambios de presión.
14. Comparar y contrastar los diferentes signos/síntomas de la enfermedad de descompresión y de la aeroembolia.
15. Definir la forma más seria de lesión por expansión pulmonar en el buceo y como ocurre, y que factores pueden contribuir a su ocurrencia.
16. Explicar como afecta el estrés el desenvolvimiento del buzo.

## I.- CIRCULACION

### A.- Importancia del Sistema Circulatorio

El cuerpo humano debe tener oxígeno para poder sobrevivir y el sistema circulatorio se encarga del suministro de éste. El Sistema Circulatorio transporta el combustible, materiales y oxígeno desde los sistemas respiratorios y digestivo hacia los tejidos del cuerpo.

### B.- Componentes de la SANGRE

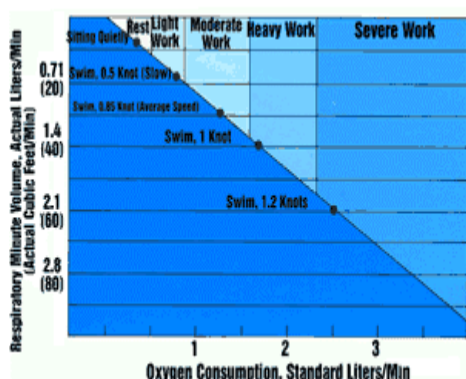
El principal componente del sistema circulatorio es la sangre, la cual está compuesta de numerosas sustancias, a saber :

- Plasma : Líquido transparente que transporta los otros componentes.
- Glóbulos Rojos : Contienen *hemoglobina*, la sustancia que se asocia con el oxígeno, transportándola a los tejidos y retornando con dióxido de carbono. Son células anucleadas y no se pueden reproducir. Se necesitan células hematopoyéticas (en huesos largos) para que se produzcan los glóbulos rojos, los cuales tienen un promedio de vida de aproximadamente 120 días. El contenido promedio de células de este tipo es de 5 millones/ml cúbico en los humanos.
- Glóbulos Blancos : Ayudan a combatir las infecciones. Su

función es netamente inmunológica. Atacan los cuerpos extraños que se encuentran en el organismo (tal como las burbujas). Pueden atravesar paredes de venas y arterias para llegar a la infección.

- Plaquetas : Elementos encargados de la coagulación de la sangre. Contienen sales/electrolitos/glucosa. Su promedio es de 200-300 mil/ml cúb.

### C.- Transporte de Oxígeno a los Tejidos



Si no se combinaran grandes cantidades de oxígeno con la hemoglobina - formando la oxihemoglobina- entonces su transporte dependería únicamente de la cantidad que estuviese disuelta en el plasma. Si este fuera el caso, la sangre tendría que circular de 15 a 20 veces más rápido para poder cubrir la demanda de los tejidos. La hemoglobina (Hb) transporta y libera el O<sub>2</sub> eficientemente debido a que la variación en la

presión parcial influye en su capacidad para permanecer asociada con el mismo. La sangre circula a través de los pulmones donde encuentra altas presiones parciales (pp) de oxígeno, aquí el O<sub>2</sub> penetra por difusión al glóbulo rojo y se asocia con la hemoglobina.

### D.- Dióxido de Carbono

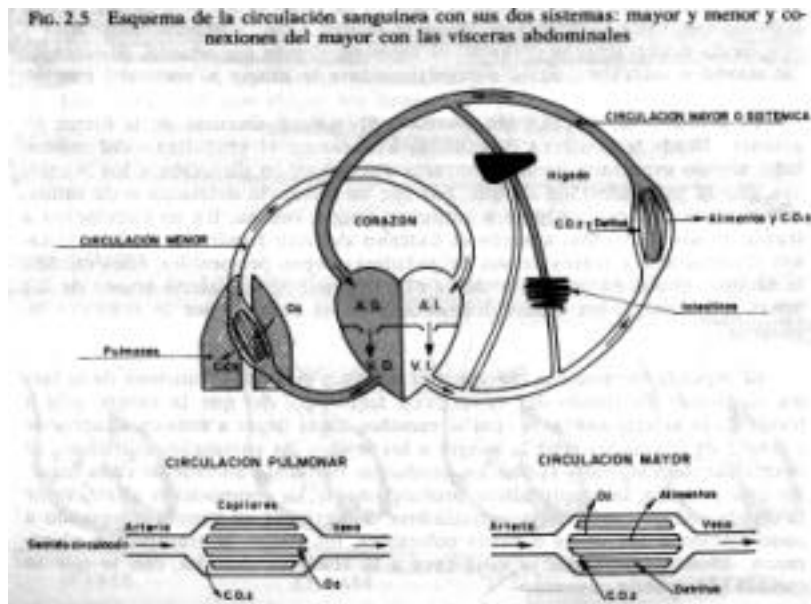
Este es el producto de desecho del metabolismo oxidativo - es un compuesto muy reactivo. Para transportar eficientemente la mayor cantidad de este producto de desecho hacia los pulmones, el más alto porcentaje de este compuesto retorna como otro producto - bicarbonato (75%), un 20% en la hemoglobina y el 5% restante en solución. Una vez en los pulmones, el bicarbonato es convertido otra vez en dióxido de carbono y liberado a través de la respiración.

### E.- Circulación:

Corazón: Es un tejido muscular compuesta por dos cavidades,

una izquierda y otra derecha. Cada cavidad presenta dos cámaras: Aurícula y Ventrículo.

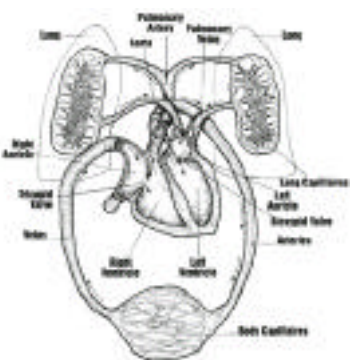
La sangre desoxigenada regresa al corazón por el lado derecho a



través de la *vena cava* de aquí, cae en la aurícula derecha, pasa al *ventrículo derecho* (a través de la *válvula tricúspide*) --> pulmón (sangre con alto contenido de CO<sub>2</sub>) a través de la *arteria pulmonar* (la única arteria que transporta sangre desoxigenada) --> una vez dentro de los pulmones se ramifica

para llegar a los alvéolos --> ocurre el intercambio gaseoso (pared permeable del alvéolo) por diferencia de presión --> pasa a la sangre y el O<sub>2</sub> se asocia con la Hb para ser transportado a todos los tejidos--> y nuevamente retorna al corazón para una represurización a través de la *vena pulmonar* (la única vena que transporta sangre oxigenada)--> aurícula izquierda --> ventrículo izquierdo --> es devuelta hacia los tejidos por la aorta (descendente y ascendente), completando así el ciclo de la circulación.

La circulación se divide en dos ciclos: La MENOR, que fue la mencionada anteriormente y la MAYOR que es la irrigación de todo el cuerpo, como se muestra en la figura anterior.



## II.- RESPIRACION :

### A.- Función de la Respiración

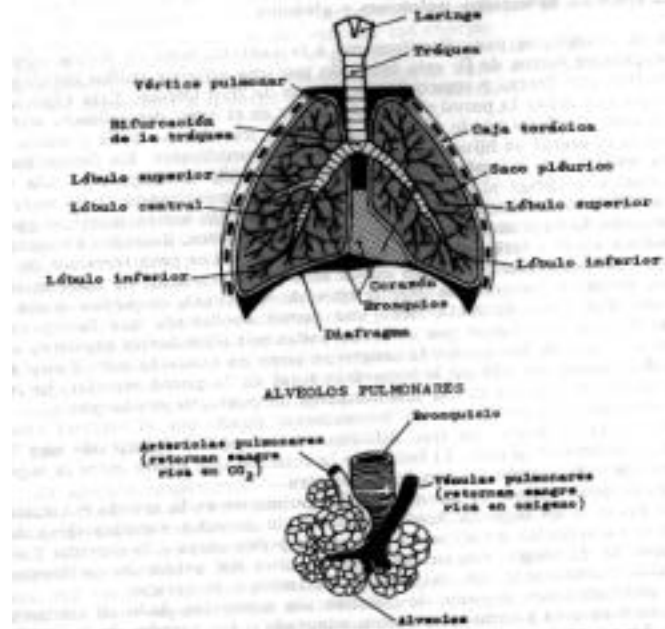
El sistema respiratorio supe a la sangre con el oxígeno

requerido por los tejidos del cuerpo y con un medio para la eliminación del dióxido de carbono. Debido a que el  $\text{CO}_2$  es un producto de desecho, ocurren numerosos problemas en el organismo cuando se acumulan excesos de esta sustancia.

El SISTEMA RESPIRATORIO lo conforman:

- Nariz/Boca
  - Faringe
  - Laringe
  - Tráquea
- } Entre éstas está la glotis que evita que pase líquido al pulmón
- Bronquios (2 ramificaciones; 1 en cada pulmón)
  - Bronquiolos
  - Vesículas, compuestas de alvéolos: cada alvéolo está compuesto de tejido epitelial (permeable) y rodeado de capilares sanguíneos (intercambio de gases).

Los pulmones no son iguales; el derecho tiene 3 lóbulos y el izquierdo solo 2. Todo el tejido pulmonar está compuesto de alvéolos.

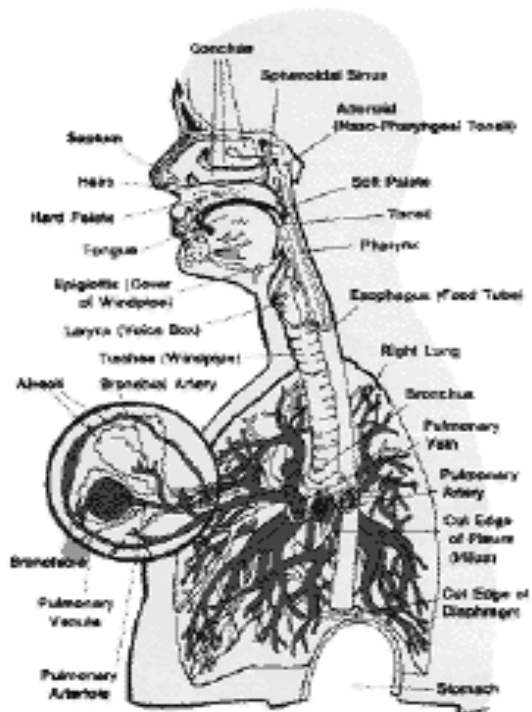


La Cavidad Torácica contiene a los pulmones. El pulmón está recubierto por la pleura visceral y la caja está recubierta por la pleura parietal, la cual está humedecida por el líquido pleurico. Este sirve como lubricante cuando las dos pleuras entran en contacto.

## B.- Respiración y el Buceo

Respirar con equipo, bien sea con snorkel o scuba presenta algunos problemas como resultado del aumento de  $\text{CO}_2$  y de la resistencia tanto para la inhalación como para la exhalación.

- Espacios de Aire Muerto: áreas de las vías aéreas donde el intercambio gaseoso no se lleva a cabo. Estos pueden ser naturales (tráquea, boca, nariz) y/o artificiales (snorkel, boquilla del regulador).
- Resistencia del Aire: A medida que la densidad del aire aumenta, aumenta su resistencia. La resistencia además se presenta como resultado de la turbulencia del aire, la cual es causada por una respiración rápida e ineficiente. Una respiración profunda y lenta reduce la turbulencia y la resistencia.



## C.- Buena Respiración al bucear :

Evitar los problemas ocasionados por el exceso de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) puede ser muy fácil. Esto se logra simplemente manteniendo un buen ritmo respiratorio, una respiración adecuada y evitando el sobre-esfuerzo. El uso de reguladores de buena calidad y con un buen mantenimiento ayuda bastante...

## D.- Hiperventilación Voluntaria :

Los humanos son comparativamente pobres apneístas (son raras inmersiones de mas de 2 minutos y a la mayoría de los individuos les resulta muy difícil alcanzar entre 15-20 metros). El delfín nariz de botella puede bucear por 2 horas y la ballena azul alcanzar profundidades tan

grandes como 1000 mts. El récord actual de profundidad con lastre variable (un peso que lo hunde rápidamente y una boya que lo sube de igual manera) lo mantiene el cubano Francisco "Pipín" Ferreras con 134 mts. La máxima duración de una inmersión en apnea lo determina el "punto de quiebra", es decir, el tiempo en el cual la necesidad de respirar no puede soportarse.

- Debido a que el CO<sub>2</sub> es el principal gas responsable en la estimulación de la necesidad de respirar, el reducir la cantidad de este gas antes de una inmersión en apnea, puede extender el tiempo de fondo de un buzo.
- Al hacer una o dos inhalaciones profundas y rápidas antes de la inmersión, los niveles de CO<sub>2</sub> caen por debajo de los normales. Por lo tanto, debe ser producido más CO<sub>2</sub> de lo normal para poder estimular la necesidad de respirar.
- Debe evitarse una hiperventilación excesiva por que ésta puede provocar un "desmayo de aguas poco profundas", mejor conocido como *shallow water blackout*. Esta condición se produce cuando los tejidos están necesitando oxígeno, ya que debido al reducido nivel de CO<sub>2</sub> no hay estimulación para respirar. Cuando el buzo asciende, la presión parcial del oxígeno cae demasiado y se produce la inconsciencia.
- La inconsciencia también puede presentarse como resultado de una capucha (accesorio del traje) o un collar de un traje seco muy ajustado. Esto puede comprimir las arterias carótidas que suplen de sangre al cerebro. Cuando éstas son comprimidas, puede ocurrir un descenso significativo en el pulso y en la presión sanguínea, trayendo como resultado la inconsciencia. Esta condición se conoce como "reflejo del seno carótido" o *carotid sinus reflex*.
- A pesar de que el impulso que estimula el corazón se origina en el corazón mismo (nodo seno-arterial), el cerebro tiene la capacidad de inhibir dicho impulso. Esto ocurre en un caso de reflejo del seno carótido. El ritmo cardíaco baja hasta un punto donde es imposible mantener el flujo sanguíneo suficiente para alimentar al cerebro y ocurre la inconsciencia.

#### E.- Diving Reflex de los Mamíferos:

El fenómeno que ocurre en algunos mamíferos de reducir su ritmo cardíaco al sumergirse es conocido como "reflejo de buceo de los mamíferos" o *mammalian diving reflex*. Aunque los humanos tienen más o menos una respuesta, esto es común a todos los mamíferos acuáticos. (Esto influye sobre la gran capacidad de apnea de los mamíferos marinos). No obstante, para que el fenómeno ocurra, la cara debe estar inmersa o al menos humedecida, en agua fría.

#### F.- Monóxido de Carbono. Problemas:

El Monóxido de Carbono es un gas sin olor, sin sabor y venenoso que usualmente está en el suministro de aire de los buzos como resultado de un mantenimiento inadecuado del compresor.

- Para asegurarse de que el aire no esté contaminado, deben usarse lubricantes y filtros apropiados, y al compresor debe realizársele el mantenimiento según las instrucciones del fabricante.
- Aún compresores bien mantenidos pueden producir aire de mala calidad si existen fuentes de monóxido muy cercas de la toma de aire. Esto suele ocurrir cuando las emanaciones de vehículos penetran en la toma de aire del compresor. Por lo que debe tenerse un especial cuidado a la hora de seleccionar el lugar más adecuado para colocar la toma de aire.
- El fumar antes de bucear es también un medio de aumentar los niveles de monóxido. El fumar causa un descenso general en la eficiencia respiratoria de tal manera que debe ser evitado por todos los buzos. (De hecho, toma de 8 a 12 horas para que el intercambio gaseoso retorne a la normalidad luego de fumar).
- Una vez en el torrente sanguíneo, el monóxido bloquea la hemoglobina, evitando así el transporte eficiente del oxígeno.

#### G.- Oxígeno. Problemas:

El Oxígeno, aunque necesario para sustentar la vida, puede convertirse en tóxico cuando es respirado a presiones parciales elevadas. Por esta razón, los tanques de buceo nunca deben ser llenados con oxígeno

puro. De hecho, el respirar oxígeno puro a profundidades iguales o mayores a 33 pies / 10 mts puede resultar en convulsiones en cuestión de minutos.

La presión parcial normal del oxígeno en el aire es de 0.2 ATA (21%). El oxígeno cuando se respira a altas presiones causa una serie de efectos fisiológicos que no son considerados como efectos tóxicos. Estos incluyen un aumento en la ventilación y una disminución entre la tensión alveolar del dióxido de carbono y la de las arterias ( $PCO_2$ ). Esto se debe a una elevación de la presión parcial del  $CO_2$  en el sistema venoso central debido a la reducción en la capacidad de asociación de la hemoglobina con el  $CO_2$ .

El desarrollo de la toxicidad del oxígeno depende de:

- La Presión parcial del oxígeno
- Duración de la exposición
- Variación entre la susceptibilidad ínter e intraindividual

Se conocen dos tipos principales de intoxicación por oxígeno, uno pulmonar y otra a nivel del Sistema Nervioso Central (SNC).

#### **Efecto de Lorraine-Smith (Pulmonar):**

La toxicidad pulmonar no es un problema en buceos con oxígeno si son de corta duración. Se ha comprobado que las exposiciones prolongadas a presiones parciales tan bajas como 0.55 ATA producen cambios significantes en las paredes alveolares. El tejido permeable del alvéolo comienza a endurecerse para suavizar el intercambio gaseoso brusco que está ocurriendo. Este endurecimiento causa una menor permeabilidad de dicho tejido, con lo cual se dificulta el intercambio gaseoso al respirar aire normal. Se ha establecido que ocurre a partir de las 16 horas de respirar oxígeno 100% a una presión parcial de 1 ATM. Si la presión aumenta, el tiempo de aparición disminuye.

#### **Síndrome de Paul Bert (SNC):**

Cuando se respira Oxígeno a presiones parciales mayores a 1.6 ATA se produce una toxicidad que afecta al cerebro. Esto es conocido como CNS (Sistema Nervioso Central). La causa exacta es desconocida, pero una teoría común sugiere que altos niveles pueden inhibir ciertas enzimas que son requeridas para reacciones bioquímicas en el cerebro. La presión

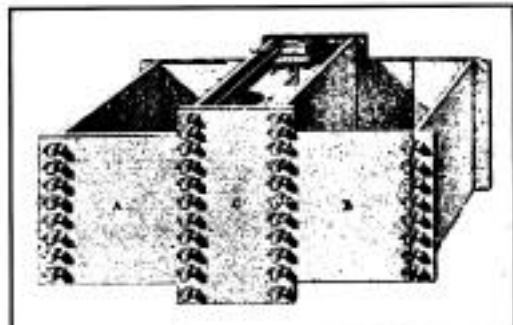
parcial a la cual ocurre esta toxicidad crónica varia. Al parecer existen algunos factores que afectan la presión a la cual ocurre la toxicidad. Elevados niveles de Dióxido de Carbono y altas temperaturas aumentan la susceptibilidad, así como también hacer trabajo pesado bajo el agua.

El caso más dramático del resultado directo de la toxicidad del oxígeno es una convulsión similar a la epiléptica la cual puede ocurrir hasta en los casos que se tiene el mayor cuidado. Comúnmente se presentan síntomas menores que preceden a la convulsión tales como náusea, calambres, vértigo, anomalías visuales, irritabilidad y otros. La convulsión usualmente tarda dos minutos. Inicialmente el cuerpo se pone rígido y el accidentado sufre pérdida de la consciencia. Ocurre un paro respiratorio y se obstruyen las vías respiratorias.

### III.- ENFERMEDAD DE DESCOMPRESION (*Bends, DCS, Mal de Caisson*)

En 1650 Von Guericke desarrolló la primera bomba efectiva de aire y 20 años después Robert Boyle usó una bomba para reducir la presión dentro de un envase que contenía una culebra. Esta se retorció de dolor y Boyle notó la formación de burbujas en el fluido del ojo y en otras partes de su cuerpo y concluyó que habían sido causadas por una descompresión.

En 1841 la enfermedad de descompresión fue observada por Triger en los trabajadores de *caisson* quienes laboraban en túneles hechos en el suelo húmedo (nivel freático) para la construcción de un puente a través del Río Loire, cerca de Chalonnés, Francia. La presión en el túnel se aumentaba para prevenir que el agua penetrara y lo llenara. Estos trabajadores pasaban largas horas respirando aire comprimido dentro de dichos túneles y a menudo sufrían dolores y otros desordenes luego de retornar a la presión normal. En 1854 Pol y Watelle publicaron un reporte indicando la naturaleza de la enfermedad. En 1857 Hoppe-Seyles repitió el experimento de Boyle, en el 69 Le Roy de Mericourt y Gal en el 72 describieron una enfermedad laboral en



pescadores de esponjas. También en el 72, Freidbruy comparó casos de enfermedad de descompresión contra casos de aeroembolia. En 1873 Smith describió el DCS como una enfermedad que dependía del aumento de la presión atmosférica.

En 1878, Paul Bert demostró de una manera más contundente que el DCS se debía principalmente al resultado de las burbujas de gas inerte que era disuelto de acuerdo a las leyes de Henry y de Dalton y que luego era liberado en la fase de gas en los tejidos y sangre durante o después de la descompresión.

Andrew Smith, un cirujano del Manhattan Eye and Ear Hospital notó en 1894 el origen del término "bends". Debido al dolor en la espalda y extremidades inferiores, las víctimas asumían una postura encorvada o de "bends". Posteriormente, un fisiólogo inglés, John Scott Haldane, propuso su hipótesis del radio de supersaturación, en la cual se basan la mayoría de las tablas actuales.

A finales del siglo 19 se detectaban síntomas similares en los pescadores de esponjas y a principios de siglo en aviadores que llegaban a grandes alturas sin cabina presurizada.

#### MECANISMO:

La Enfermedad de Descompresión proviene de la formación de burbujas dentro del cuerpo por el exceso de gas disuelto en la sangre y tejidos corporales, debido a las grandes presiones parciales que alcanzan los gases en nuestros tejidos cuando buceamos. Al bucear usamos aire, los gases que contiene básicamente son oxígeno y nitrógeno. El O<sub>2</sub> es fácilmente consumido por el cuerpo y generalmente no crea problemas de burbujas, pero el N<sub>2</sub> no es usado y es almacenado en los tejidos. Cuando ascendemos el exceso del gas es liberado de nuestros tejidos y si ascendemos lo suficientemente lento, este exceso se disolverá y será liberado de una manera ordenada y segura para nuestro cuerpo. Pero, si por el contrario ascendemos muy rápido, se forman burbujas del gas en algunos de nuestros tejidos (donde sea mayor la supersaturación).

- Aunque nuestros tejidos están compuestos básicamente por agua, hay algunas diferencias importantes entre ellos que afectan sus características de absorción de gases. Primero, los tejidos tienen

diferentes densidades. Los huesos, por ejemplo, son más densos que la piel. Esto afectará como es difundido el gas una vez que éste alcanza el tejido. Segundo, el suministro de sangre difiere entre los tejidos. Por lo tanto, tejidos que reciben más suministro de sangre (mayor irrigación) tendrán más suministro del gas, pero también más descarga del mismo y si el ascenso no excede las tasas establecidas, no hay problemas, pero si ascendemos muy rápido, se formarán burbujas.

- La formación de burbujas no puede ocurrir hasta que los tejidos no estén supersaturados -retienen más presión del gas que el de la presión ambiente. La Supersaturación no puede ocurrir, no obstante, hasta que la presión ambiente se reduzca durante el ascenso. Como nos han demostrado los buzos de saturación, los humanos pueden permanecer a una profundidad indefinidamente y no presentar DCS. El problema ocurre solo cuando ascendemos y la DCS se produce cuando la presión se ve reducida rápidamente (durante el ascenso) causando que los tejidos se supersaturen con el nitrógeno.
- Las burbujas de nitrógeno comienzan a formarse primero como unas burbujas pequeñas, asintomáticas o "silentes", pero cuando crecen demasiado en tamaño producen síntomas. La formación de las "burbujas silentes" tiene un origen fisiológico complejo.
- Las burbujas que se forman pueden ser intracelulares, las cuales pueden romper las células y causar pérdida de funcionamiento; intravasculares las cuales funcionan como émbolos y bloquean la circulación a uno o varios tejidos, dependiendo de donde se alojen o pueden ser extravasculares que causan compresión de los vasos sanguíneos y nervios. Además, la interface sangre-burbuja actúa como un cuerpo extraño y activa las fases tempranas de la coagulación sanguínea.

## FACTORES QUE CONTRIBUYEN AL BENDS o DCS

1. Obesidad
2. Edad
3. Deshidratación

4. Lesiones y/o Enfermedad
5. Alcohol
6. Dióxido de Carbono
7. Agua Fría
8. Ejercicio Pesado o Fuerte
9. Adaptación
10. Perfil de la Inmersión
11. Exposición a Altitud
12. Ascensos Rápidos y Múltiples
13. Buceo Repetitivo y Múltiple

- 1) **Obesidad:** La obesidad aumenta la masa de los tejidos disponible para absorber más gas inerte. El nitrógeno es 4.5 veces más soluble en grasa que en agua y tejidos no grasos.
- 2) **Edad:** El aumento de la edad aumenta el riesgo de contraer DCS, posiblemente debido a una perfusión no adecuada o a vasos dañados que lo hacen más susceptibles a interferencias de otros fluidos. Anormalidades y degeneraciones en la superficie de las articulaciones aumenta la probabilidad de formación de núcleos de burbujas en los de mayor edad. Una disminución en la eficiencia circulatoria y un aumento de la grasa corporal también pueden ser factores decisivos con la edad.
- 3) **Deshidratación:** Cualquier reducción en el contenido de los fluidos del cuerpo reduce el volumen sanguíneo y por lo tanto reduce el bombeo cardíaco. La inmersión en si aumenta el bombeo sanguíneo, por lo cual no afecta la toma de nitrógeno. Pero al final de la inmersión, los efectos del frío, la disminución de la circulación a los extremidades y de la deshidratación, reduciendo el volumen de la sangre circulante y una vasoconstricción. Esto se combina para reducir la tasa a la cual el nitrógeno puede ser removido de los tejidos. Además, la vasoconstricción ayuda en la formación de coágulos alrededor de las burbujas que se forman.
- 4) **Lesiones y/o Enfermedad:** El daño sufrido en el sistema circulatorio alrededor de las lesiones aumenta el riesgo de contraer DCS. Las enfermedades también reducen el buen estado físico del buzo, sobre todo las enfermedades respiratorias y las que producen cambios en los procesos circulatorios.
- 5) **Alcohol:** El alcohol interfiere con el buen funcionamiento del cerebro y

eventualmente envía la gente a dormir. El alcohol es diurético, lo que deshidrata al buzo y un buzo deshidratado es más propenso al DCS. No obstante, nunca ha sido demostrado experimentalmente que la ingestión de alcohol predisponga al buzo al bends.

- 6) Altos Niveles de Dióxido de Carbono (Hipercapnia): El exceso de dióxido de carbono causa que los vasos sanguíneos se deshidraten, lo cual aumenta la distribución de nitrógeno a los diferentes tejidos. Una vez que las burbujas se han formado, el exceso del CO<sub>2</sub> se difunde dentro de éstas y se agrandan las burbujas.
- 7) Agua Fría: Se ha demostrado que temperaturas ambientales frías predisponen a la DCS. El nitrógeno es más soluble a menores temperaturas por lo que puede disolverse más de éste en los tejidos periféricos de un buzo con frío.
- 8) Ejercicio Pesado o Fuerte: El ejercicio durante el buceo aumenta la demanda de oxígeno. La tasa respiratoria y la circulación también aumentan, por lo que se transporta más nitrógeno a los tejidos. El ejercicio después de bucear aumenta la turbulencia y la agitación de la sangre y los tejidos, creando áreas de baja presión donde se difunde el gas hacia adentro, favoreciendo la formación de burbujas.
- 9) Adaptación: Este es un factor que según Edmons *et al.* (1992) reduce la posibilidad de desarrollo de DCS. Se supone que la exposición repetitiva y reciente a altas presiones produce una adaptación o aclimatación. La incidencia en los trabajadores de caisson es la mitad en la segunda semana y nuevamente en la tercera semana. La explicación más cercana para la adaptación es la remoción natural de los núcleos de gas (ver formación de burbujas en la Enciclopedia PADI), los cuales son el "nido" donde se forman las burbujas.
- 10) Perfil de la Inmersión: Esto puede influir notablemente en la posibilidad de contraer DCS. Mientras más profunda la inmersión anterior y mayor el tiempo de descompresión, mayor la incidencia, aunque en este curso usted planificará inmersiones donde no requerirá de descompresión. Notará que esto se contradice un poco con la condición anterior, pero todos los casos son muy específicos.

## SINTOMAS/PRIMEROS AUXILIOS

Tipo I : Síntomas de Bends Subcutáneo y dolor, tales como dolores en las articulaciones (ocurre en el 75% de los casos).

Tipo II : Incluye el cerebro, el sistema nervioso central y los sistemas pulmonar y gastrointestinal.

- Mientras se requiera la recompresión, los primeros auxilios durante el traslado deben incluir la administración de OXIGENO PURO (100%). Al reducir significativamente la presión parcial del nitrógeno en la mezcla respiratoria, los niveles de nitrógeno dentro de los tejidos pueden ser eliminados más rápida y eficientemente que respirando aire.

- No retarde la terapia de oxígeno y el transporte a una cámara hiperbárica.



Desarrolle e idee

planes de transporte para cada inmersión.

- Un paciente que respire debe ser recostado sobre su lado izquierdo, con la cabeza apoyada. Si se requiere CPR o resucitación respiratoria, el paciente deberá colocarse apoyado sobre su espalda. La posición lado izquierdo abajo y la cabeza baja no se recomienda para pacientes con DCS. El paciente consciente debe ser avisado para que no se pare durante los primeros auxilios o durante el transporte hasta que un médico lo recomiende.
- A pesar que los síntomas de DCS y algunas lesiones de sobre-expansiones pulmonares son similares, los DCS :
  - Tienden a ser más retardados que los embolismos.
  - Están a menudo acompañados de dolores en las articulaciones y fatiga, mientras que los embolismos no.
  - Usualmente no mejoran con el suministro de primeros auxilios mientras que los casos de embolismo algunas veces si.

#### IV.- NARCOSIS DE NITROGENO

A. Todos los gases inertes, tales como el nitrógeno, cuando son respirados a presiones parciales elevadas tienen la capacidad de

Puerto Escondido Dive Center

Telfs/Fax : (02) 9418882 (14)2233425/3373815 e-mail: [aquaventura@yahoo.com](mailto:aquaventura@yahoo.com)

sedar el Sistema Nervioso Central. Bajo la presión normal de superficie, el nitrógeno no tiene ningún efecto.

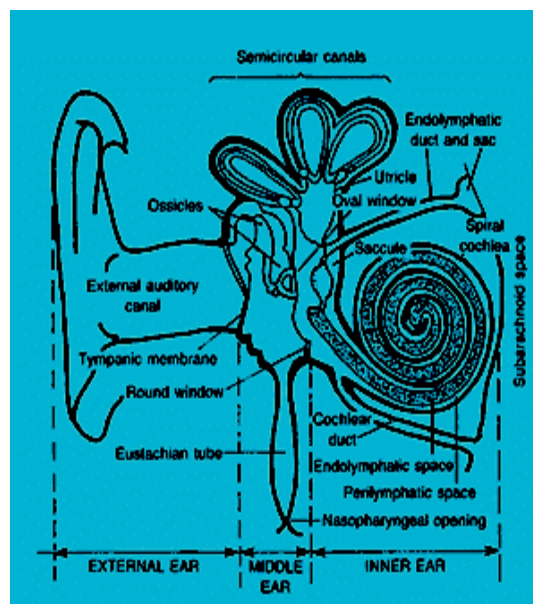
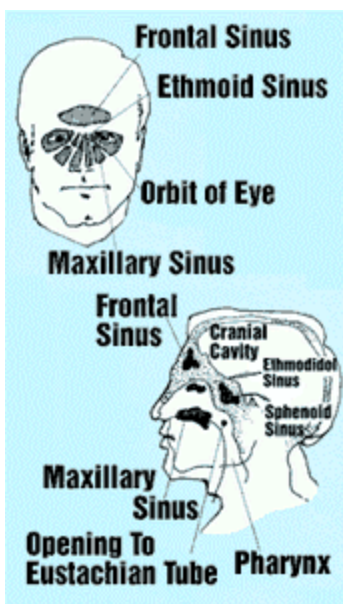
A. MECANISMO. TEORIAS. Aunque no ha sido completamente comprendido, se cree que la nitronarcosis resulta de la interrupción en la transmisión de los impulsos nerviosos. Los gases inertes -particularmente cuando son respirados bajo presión- tienen la capacidad de causar esta disrupción. El grado de disrupción depende de cuan bien se hayan disuelto los gases en los tejidos grasos (lípidos). El nitrógeno, como ya se mencionó antes, no tiene ningún efecto a la presión de superficie. Pero, cuando se respira bajo suficiente presión, esto puede causar una disrupción de la transmisión de los impulsos nerviosos.

A. LIMITES. A profundidades de aproximadamente 100 pies/ 30 m, este efecto sedativo del nitrógeno a elevadas presiones parciales empieza a ser notorio (aunque la profundidad a la que aparecen los síntomas depende de la susceptibilidad de cada individuo).

A. SINTOMAS/PREVENCIÓN. Los síntomas de la nitronarcosis incluyen : euforia, narcosis, juicio pobre y disminución de la coordinación motora, síntomas que desaparecen al ascender a aguas menos profundas.

#### V.- EFECTOS MECANICOS DE LA PRESION

BAROTRAUMA o "lesiones de presión" pueden ocurrirle al buzo mientras asciende (sobre-expansión del pulmón y bloqueo inverso) o mientras desciende (apretón o *squeeze*).



## OIDO/DESCENSO.

PROBLEMAS. Debido a su complejidad y a la gravedad de las potenciales lesiones, el oído es la estructura más importante que se ve afectada durante el descenso.

- El oído externo (lóbulo y canal) no es afectado por la presión porque se inunda con el agua.
- El oído interno es un compendio de tejido y fluido (coclea y canales semicirculares) y sin embargo es usualmente no se ve afectado por la presión.

1) Los osículos son la serie de huesos que están conectados por un extremo a la membrana timpánica (tímpano) del oído externo, y están conectadas a la ventana oval del oído interno. La ventaja mecánica resultante del arreglo de los osículos amplifica las vibraciones a medida que pasan desde el oído externo al interno.

a) Debido a que el balance es controlado por estas estructuras, cuando se rompe el tímpano y entra agua fría al oído medio se origina perturbaciones convectivas en el fluido del oído interno e induce al vértigo.

b) Intentos extremadamente forzados para igualar usando la maniobra de valsalva puede resultar en la ruptura de la ventana redonda. Esta es una condición muy seria que usualmente requiere intervención quirúrgica.

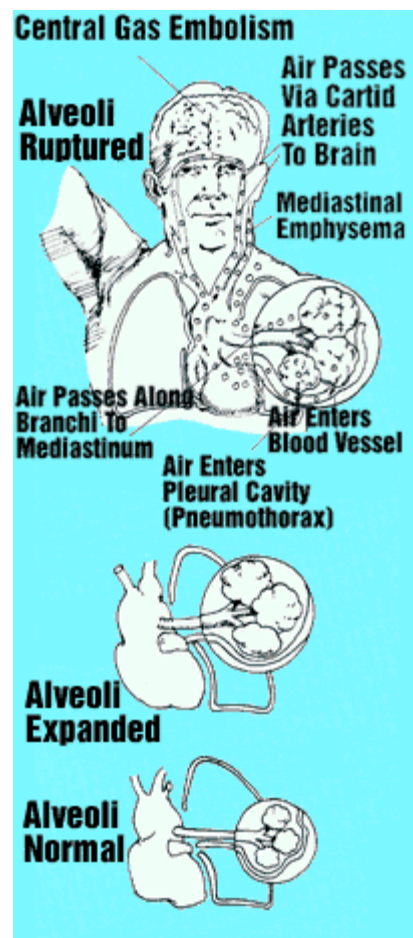
Puerto Escondido Dive Center

Telfs/Fax : (02) 9418882 (14)2233425/3373815 e-mail: [aquaventura@yahoo.com](mailto:aquaventura@yahoo.com)

- Las estructuras del oído medio (tímpano y osículos) están contenidos dentro de una cavidad de aire la cual está constantemente sujeta a cambios de presión y que es por lo tanto el área mas afectada cuando se bucea.

C. PULMONES. PROBLEMAS. Las lesiones en los pulmones pueden resultar ser unas de las condiciones más serias y complicadas con las que se puede enfrentar el buzo.

- Aunque la mayoría de las lesiones ocurren debido a la sobre-expansión, el "squeeze" de pulmón o torácico, resultado de la compresión de los pulmones, puede ocurrir durante el descenso. Esta condición podría ocurrir durante el descenso de unos pocos metros si el buzo comienza su descenso con los pulmones vacíos o casi vacíos (como cuando exhala para intentar reducir la flotabilidad al descender).



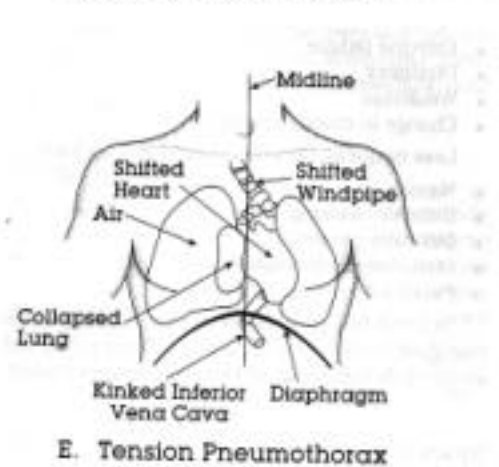
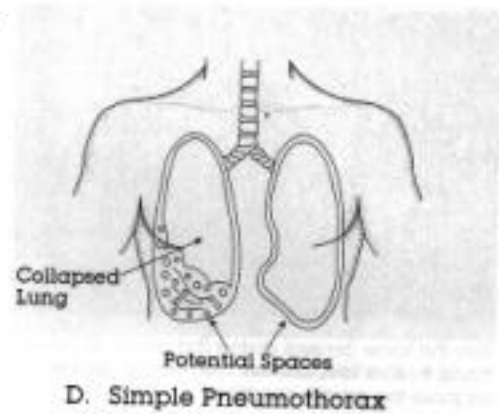
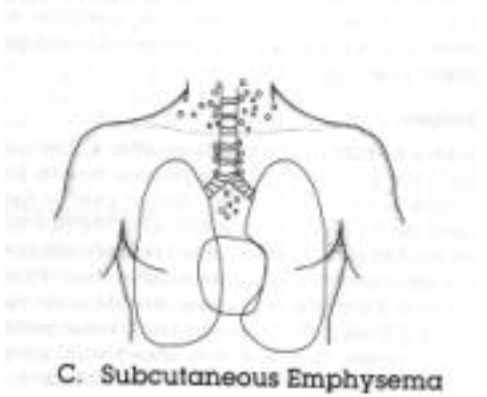
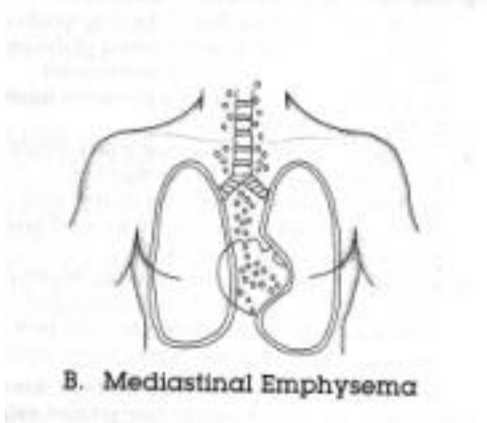
- Las lesiones de **Sobre-expansión Pulmonar** se clasifican de acuerdo a la manera en que escapó el aire :

- Embolismo de Aire* (Aeroembolia) : es el desorden más serio ocasionado por las burbujas de aire que escapan directamente a la circulación arterial (y muy amenudo al cerebro). Debido a las serias consecuencias, el proveedor de primeros auxilios debe asumir que cualquier sospecha de sobre-expansión pulmonar es

una aeroembolia. Inconsciencia o parálisis son síntomas comunes.

- ii) *Pneumothorax* : Involucra una ruptura más extensa de los pulmones por donde escapa el aire dentro de varias cavidades. A medida que el buzo continua ascendiendo, el espacio aéreo se expande, haciendo colapsar el pulmón y posiblemente interfiriendo con las funciones del corazón.
- iii) *Enfisema Mediastinal* : resulta cuando el aire de un alvéolo sobre-expandido escapa no dentro del torrente circulatorio, si no que se dispersa dentro de los tejidos extravasculares. Las víctimas a menudo, aunque no siempre, experimentan respiración entrecortada.
- iv) *Enfisema Subcutáneo* : ocurre cuando burbujas de aire de los tejidos extravasculares se filtran a través del tejido pulmonar y se fijan en la base de la tráquea. El cuello parece hinchado y la víctima a menudo experimenta cambios de voz.

## Lung Overpressurization Injuries



**A.** Air escaping the lungs enters the pulmonary capillaries and travels to the arterial system where the bubbles block arteries, especially those leading to the brain.

**B.** If a lung rupture does not force air into circulation, the air may travel along the bronchi and enter the middle area of the chest, called the mediastinum.

**C.** Air expanding in the mediastinum can migrate upward along the breastbone, producing subcutaneous emphysema.

**D.** If a lung ruptures at its surface and allows air to escape into the potential space between the lung and the pleural lining, a pneumothorax occurs and the lung collapses.

**E.** If the tear in a collapsed lung produces a one-way valve effect or if air outside a lung expands during ascent, the injury can progress to a tension pneumothorax, an extremely serious condition (See page 14).

**General:** Lung overpressurization injuries can be life-threatening and may occur in combination.

- Varios factores que pueden contribuir a que ocurran lesiones por sobre-expansión son :
  - a) Infección respiratoria o catarro del pecho.
  - b) Enfermedades crónicas u obstrucciones.
  - c) Fumar

- Los Primeros Auxilios recomendados para las sobre-expansiones pulmonares son :
- 1) Administrar oxígeno
    - a) A un paciente que respira se le debe recostar sobre su lado izquierdo, con la cabeza apoyada. Si se requiere CPR o resucitación respiratoria, el paciente deberá ser recostado sobre su espalda. Los pacientes conscientes deben ser advertidos de no pararse durante los primeros auxilios o durante el transporte hasta que le sea permitido por un doctor.
    - b) La posición de lado izquierdo abajo, cabeza abajo es opcional para los pacientes que están respirando pero que se sospecha altamente que sufren de una sobre-expansión pulmonar, pero solamente durante los primeros 20 minutos luego del accidente. No continúe con esta posición si debe aplicar CPR, o si el paciente experimenta incomodidad o empeoran sus signos/síntomas. Si no está seguro de si el paciente sufre de DCS o sobre-expansión, o si existe alguna duda acerca de usar esta posición, NO LA USE !.
  - 2) Tratamiento hiperbárico en una cámara de recompresión.

### ***ENFERMEDAD DE DESCOMPRESION vs. LESIONES POR SOBRE-EXPANSION DE PULMON.***

- En la AEROEMBOLIA, las burbujas de aire escapan directamente dentro de la vena pulmonar y son transportadas hacia el corazón y entonces -la mayoría de las veces- al cerebro. Las burbujas comienzan a expandirse a medida que asciende y eventualmente bloquean la circulación arterial cuando se convierten muy grandes para pasar a través de los vasos sanguíneos. Más que un choque, este bloqueo corta el flujo sanguíneo vital al cerebro, resultando a menudo en la inconsciencia inmediata. Tos con sangre no es un síntoma muy común. Por otro lado, la enfermedad de descompresión resulta de la eliminación muy rápida del nitrógeno -debido a una reducción en la presión ambiental- que sale de solución y forma burbujas. Esta condición no ocurre inmediatamente, pero si al pasar un corto período de tiempo (toma usualmente 30 minutos o más). Aunque no ha

sido comprendido del todo, muchos creen que los dolores en las articulaciones es el resultado de la formación de burbujas extravasculares en los ligamentos y tendones de las articulaciones.

- El embolismo gaseoso a menudo parece un choque -el lado derecho o izquierdo completo del cuerpo es afectado, de acuerdo a cual lado del cerebro esté involucrado. (El lado derecho del cerebro controla la coordinación motora del lado izquierdo del cuerpo y viceversa). No obstante, los síntomas de la aeroembolia aparecen de cualquier manera. En la enfermedad de descompresión, particularmente cuando involucra el sistema nervioso central, los síntomas son más bien los de una parálisis. En este caso ambos lados del cuerpo -superior e inferior- son afectados, de acuerdo al sitio donde ha ocurrido la lesión producida por las burbujas en la espina dorsal.
- En los casos de embolismo, una víctima parecerá amenudo mejorar cuando es tratada por shock y comienza a respirar oxígeno puro. En los casos de enfermedad de descompresión, la condición requiere tiempo para desarrollarse y, no obstante requiere tiempo -y un tratamiento agresivo- para mejorar. Las medidas inmediatas de primeros auxilios tienden a tener pequeñas consecuencias en el crecimiento de las burbujas. Los síntomas a menudo no muestran mejoría como resultado de los primeros auxilios.