



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS



ANÁLISIS DEL TRABAJO RESPIRATORIO COMPARANDO LA SITUACIÓN DE
REPOSO CONTRA LA REALIZACIÓN DE ACTIVIDADES DEPORTIVAS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

FÍSICA

PRESENTA

MARÍA TERESA ARACELI RANGEL DIEGO

DIRECTOR DE TESIS

FÍS. LUIS ANGEL HIDALGO SOLÍS

MÉXICO, D.F.

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

División de Estudios Profesionales

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

**Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente**

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:
"Análisis del trabajo Respiratorio comparando la situación de reposo contra la
realización de Actividades Deportivas".

realizado por Rangel Diego María Teresa Araceli

con número de cuenta 07425889-3 , quien cubrió los créditos de la licenciatura en Física.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Tutor (a)
Propietario Fís. Luis Angel Hidalgo Solís

Propietario Dr. Miguel Aguilar Casas

Propietario M. en C. Alicia Zarzosa Pérez

Suplente Biol. Armando Muñoz Comonfort

Suplente Dra. Clara Esquivel Huesca

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D.F., a 29 de Agosto del 2006.
CONSEJO DEPARTAMENTAL DE FÍSICA



M. en C. Alicia Zarzosa Pérez

FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Indice
Introduccion
Objetivo
Respiracion
Pared toracica y musculos respiratorios
Mecanica de fluidos propiedades de los gases y flujo
Biomecanica de la respiracion
Modelo mecanico de los pulmones inspiracion y espiracion
Biomecanica de la inspiracion y la espiracion
Inspiracion reposo o ejercicio ligero
Inspiracion realizando ejercicio
Espiracion reposo o ejercicio ligero
Espiracion realizando ejercicio
Maniobra de Valsalva
Volumenes pulmonares
Volumenes estaticos pulmonares
Ventilacion
Volumenes dinamicos pulmonares
La funcion pulmonar el entrenamiento y el rendimiento fisico en atletas
Ventilacion alveolar
Distensibilidad de los pulmones y de la pared toracica
Trabajo mecanico y fluidos
Dinamica de la ventilacion
Trabajo respiratorio
Espacio muerto
Potencia Aerobica
Metabolismo Anaerobico
Metabolismo Aerobico
Evaluacion del sistema de energia inmediato y pruebas de potencia aerobica
Aplicaciones a la realizacion de ejercicio fisico
Pilates
La tecnica de respiracion Pilates
Contrologia
La Contrologia Respiracion
Respiracion y relajacion
Jadeo
Respiracion ejercicio y niños
Discusion
Conclusiones
Bibliografia

Alumna

MARÍA TERESA ARACELI RANGEL DIEGO

Título

ANÁLISIS DEL TRABAJO RESPIRATORIO COMPARANDO LA SITUACIÓN DE REPOSO CONTRA LA REALIZACIÓN DE ACTIVIDADES DEPORTIVAS.

INTRODUCCIÓN

Objetivo: Analizar los cambios físicos involucrados en la respiración en estado de reposo comparando contra la respiración de una persona durante la realización de actividades deportivas.

Justificación: De la información resultante obtener parámetros que nos permitan establecer aplicaciones prácticas que permitan el mejoramiento del rendimiento de atletas universitarios. Investigar si existen técnicas para respirar cuando se está realizando ejercicio y, de ser así, cuales son los principios físicos involucrados.

Descripción: En este trabajo se estudia la biomecánica de la *respiración externa*; en inglés se le llama *Mechanics of Breathing*, lo que la distingue (y separa) de *Mechanics of Respiration*, y enfatiza que se trata del proceso mecánico mediante el cual *el cuerpo humano realiza el intercambio gaseoso entre la atmósfera y los pulmones*. No llevaremos a cabo estudios sobre la *respiración tisular* ni tampoco sobre la *respiración celular*. El interés que tiene esta tesis es comparar la biomecánica de la respiración externa cuando se realizan actividades deportivas y distinguir cuáles son las diferencias que se presentan cuando el cuerpo se encuentra en reposo, de las cuales existe mucha información en textos que van desde los niveles de educación media básica hasta niveles especializados pero sobre la que no se encuentran mucha información salvo en libros avanzados o en artículos de investigación.

Observaciones: (1) Para lograr los objetivos de la tesis efectuaremos el análisis comparando la información obtenida de la investigación bibliográfica utilizando el siguiente orden para la exposición de este trabajo: Respiración; Estructura del aparato respiratorio; Pared torácica y músculos respiratorios; Mecánica de Fluidos, Propiedades de los Gases y Flujo; Biomecánica de la Respiración; Modelo mecánico de los pulmones; inspiración y espiración; Biomecánica de la inspiración y la espiración; Maniobra de Valsalva; Volúmenes Pulmonares; Ventilación; Volúmenes dinámicos pulmonares; La función pulmonar, el entrenamiento y el rendimiento físico; Ventilación alveolar; Distensibilidad de los pulmones y de la pared torácica; Trabajo respiratorio, Dinámica de la ventilación; Espacio muerto; Aplicaciones a la realización de ejercicio físico. Discusión y Conclusiones. (2) Como no esperamos que los textos de Anatomía y Fisiología incluyan indicaciones sobre técnicas de respiración buscamos información en **manuales sobre técnicas deportivas** de los cuáles hay bastantes títulos en las bibliotecas; libros de corredores, de natación, yoga, físico culturismo, acondicionamiento físico general (es práctica comercial presentar este tema con el anglicismo de "fitness", así como también denominar a los ejercicios de trote y carrera como "jogging").

(3) No abordaremos el estudio de enfermedades respiratorias como resfriados, gripe, bronquitis, asma u otros estados patológicos; tampoco hablaremos sobre los efectos del tabaquismo y contaminantes ambientales ya que esto nos saca de nuestro problema y lo extiende a la práctica médica.

Para iniciar este estudio consideremos primero los siguientes experimentos.

Experimento No. 1. Carrera a pie: Pongámonos nuestra ropa y zapatos deportivos, vayamos a la pista a realizar una carrera a pie partiendo del reposo, figura 1, y observemos lo que sucede.

Figura 1. Carrera a pie. Cuando corremos los músculos se mueven más y aumentan las necesidades de energía y de oxígeno. Preguntémonos ahora: *¿Qué le pasa al pulso cuando estamos corriendo.* Seguramente ya habremos observado que el pulso aumenta porque el corazón late más rápidamente; hace esto con el fin de proporcionar energía y oxígeno con mayor eficacia. Para que los músculos realicen su trabajo necesitan la energía que proviene de los



alimentos y del oxígeno del aire. Estos elementos llegan a los músculos a través de la sangre que es bombeada por el corazón. Terminemos nuestra carrera y observemos que sucede ahora: Cuando nuestro cuerpo disminuye su actividad, el corazón reduce progresivamente sus latidos, hasta llegar a la frecuencia inicial, cuando estábamos en reposo. Podríamos concluir que: (i) Cuando una persona está en reposo requiere poca energía y oxígeno, por lo tanto, el corazón late más lentamente. (ii) En cambio cuando hace ejercicio, aumentan sus necesidades de oxígeno y energía.

Experimento No. 2. Ventilación en reposo: Preguntas *¿Cuántas veces respiramos en un minuto cuando estamos sentados o recostados? ¿Y cuando caminamos?* Las investigaciones que se han realizado al respecto señalan que <<La ventilación de una persona en reposo o realizando algún ejercicio ligero, como por ejemplo caminar, tiene valores entre 12 y 20 respiraciones/min. >> (Según McArdle, Katch y Katch, 1986)

Experimento No. 3. Ventilación durante el ejercicio: Pregunta *¿Cuántas veces respiramos en un minuto cuando corremos como en el experimento No. 1?* <<Se ha observado que los seres humanos somos capaces de realizar un aumento enorme en la ventilación como respuesta al ejercicio. Al realizar ejercicio moderado [por ejemplo una carrera a pie]¹ es posible aumentar 15 veces la ventilación, esto es, una persona puede realizar entre 180 y 300 respiraciones/min [en adelante, R/min]. >> (adaptado de McArdle, Kash y Kash, 1986)

¹En este trabajo los paréntesis cuadrados indican subrayados u observaciones de la autora.

De los experimentos No. 2 y No. 3 se concluye que *la frecuencia respiratoria que un individuo presenta en reposo aumenta al hacer ejercicio a fin de satisfacer sus necesidades de oxígeno; cuando éstas disminuyen, la respiración recupera la frecuencia que tenía en reposo.* Veamos ahora en qué consiste la respiración y cuáles son los principios anatómicos y fisiológicos del sistema respiratorio.

Respiración

Respiración Externa y Respiración Interna. Comúnmente se considera que la respiración es el conjunto de movimientos mediante los cuales el aire entra y sale de nuestro cuerpo, pero en una definición más adecuada, se entiende por *respiración* el conjunto de procesos que intervienen en el transporte de oxígeno (O₂) desde la atmósfera hasta los tejidos orgánicos, así como la liberación y la conducción hasta la atmósfera del bióxido de carbono (CO₂) producido en los tejidos.

El término respiración en su acepción usual se refiere a dos procesos: (1) *Respiración externa* que es la absorción de oxígeno y eliminación de bióxido de carbono del cuerpo completo; (2) *Respiración interna* que es la utilización del oxígeno y la producción de dióxido de carbono, en las células, así como el intercambio gaseoso entre las células y su medio líquido.

<<En reposo, un humano respira de 12 a 15 veces/min. Con cerca de 500 ml de aire en cada respiración, se inspiran y espiran entre 6 y 8 litros de aire [Esto es, 12 R/min x 500 ml = 6 000 ml/min = 6 l/min, donde R es el número de respiraciones efectuadas]... de esta manera 250 ml de O₂ entran al cuerpo cada minuto y se excretan 200 ml de CO₂>> (Ganong, 2001)

Estas cifras están de acuerdo con las proporcionadas por McArdle, Katch y Katch (1986) quienes además señalan que <<durante el ejercicio pesado en atletas de resistencia entrenados, se transfiere casi 25 veces esta cantidad de oxígeno a través de la membrana alveolar [lo cual correspondería a 25 x 250 ml = 6,250 ml de O₂]. La función principal de la ventilación durante el ejercicio y el reposo es mantener una concentración relativamente constante y favorable de oxígeno y dióxido de carbono en las cámaras alveolares. Esto asegura un intercambio gaseoso eficaz antes de que la sangre deje los pulmones para ser transportada por todo el cuerpo>>

El área superficial y el intercambio de gases. Si la provisión de oxígeno en los humanos dependiese sólo de la difusión por la piel, como ocurre en los organismos unicelulares, sería imposible mantener la necesidad basal energética por no hablar del intercambio de gases de 3 a 4 litros por minuto (l/min) necesario para correr un maratón, 42,195 m, a un ritmo de 5.4 m/s. Dentro del cuerpo humano las necesidades de intercambio gaseoso se satisfacen mediante el *sistema ventilatorio* que regula el estado gaseoso del ambiente externo del cuerpo para proporcionar la aireación de los líquidos corporales durante el reposo y el ejercicio.

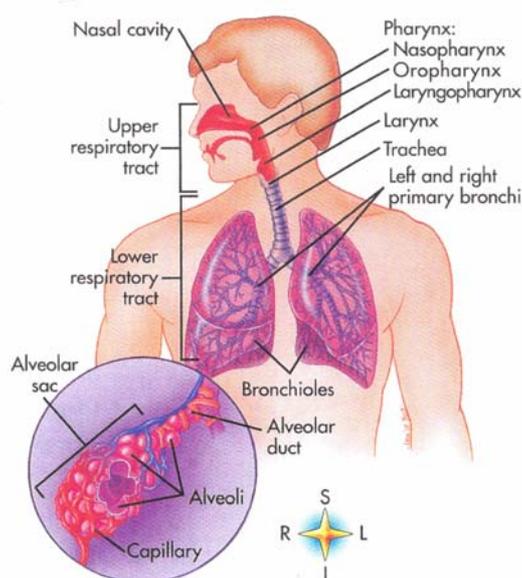
A continuación expondremos algunos conceptos básicos sobre las estructuras del cuerpo humano que permiten que se lleve a cabo la respiración. Dichas estructuras forman el *aparato respiratorio humano*.

<< El cuerpo humano ha tenido que desarrollar un aparato respiratorio especializado que presenta dos componentes: (I) Un sistema de intercambio de gases que ofrece una *extensa superficie* para la captación del oxígeno del medio y

la liberación al mismo del dióxido de carbono. Esta función la llevan a cabo los *pulmones*. (II) Un sistema de *transporte* que lleva el oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos y el dióxido de carbono desde los tejidos hasta los pulmones. Esta función corre a cargo del *sistema cardiovascular*. >> (McGowan, Jefferie, Turley, 2004)

<< El sistema respiratorio está formado por un órgano para intercambio de gas (pulmones) y una bomba que ventila los pulmones. La bomba consiste en la pared torácica: los músculos respiratorios que aumentan y disminuyen el tamaño [y consecuentemente el volumen] de la cavidad torácica; las áreas del cerebro que controlan los músculos y los haces y nervios que conectan el cerebro con los músculos. >> (Ganong, 2001)

Figura 2, Estructura del aparato respiratorio. El aparato respiratorio puede considerarse dividido en: (I) **Vías respiratorias superiores** que son las *cavidades nasales y oral, faringe, laringe y tráquea*. El aire que entra por la nariz y boca es



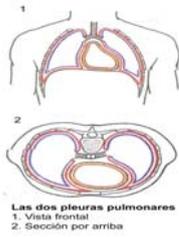
The inset in the illustration above shows the alveolar sacs where the interchange of oxygen and carbon dioxide takes place through the walls of the grapelike alveoli. Capillaries surround the alveoli.

ajustado a la temperatura corporal filtrado y humidificado. (II) **Vías respiratorias inferiores** constituidas por los *pulmones, bronquios, bronquiolos, conductos alveolares y alvéolos*; estas estructuras se hallan alojadas en la *cavidad torácica*.

Los **pulmones** son los órganos en los que tiene lugar el *intercambio de gases* y actúan como un *conducto* por el que fluye el aire y, como señalábamos anteriormente, es su *superficie* la que permite el movimiento de entrada a la sangre de oxígeno y de salida de dióxido de carbono. Los pulmones se hallan integrados por *vías aéreas, vasos sanguíneos, nervios y estructuras linfáticas*, todo ello dentro de un tejido parenquimatoso de soporte.

<<Los pulmones proporcionan la superficie entre la sangre y el ambiente externo. Aunque el volumen pulmonar varía entre 4 y 6 litros (alrededor de la cantidad de aire contenida en un balón de baloncesto), su área superficial húmeda es considerable. Si el tejido pulmonar de un hombre fuese extendido cubriría una superficie de 60 a 80 m². Esto es casi 35 veces mayor que el área superficial del hombre y suficiente para cubrir la mitad de una cancha de tenis. >> (McArdle, Katch y Katch, 1986).

Figura 3. Pleuras pulmonares. El pulmón, la *pared torácica* y el *mediastino* se hallan recubiertos por dos capas continuas de epitelio, conocidas como *pleuras*. La más interna cubre el pulmón y se llama *pleura visceral*, mientras que la más externa tapiza la pared torácica y el mediastino y recibe el nombre de *pleura parietal*. Ambas láminas se hallan muy próximas y separadas tan sólo por una película de líquido que actúa como lubricante y permite que las superficies de ambas pleuras se deslicen suavemente unas sobre otra durante la respiración.



Las dos pleuras pulmonares
1. Vista frontal
2. Sección por arriba

Figura 4. Tráquea y bronquios. Entre la tráquea y los sacos alveolares, las vías respiratorias se dividen 23 veces. Las primeras 16 generaciones de vías forman la zona de conducción de las vías respiratorias que transportan gas desde y hacia el exterior. Están conformadas por bronquios, bronquiolos y bronquiolos terminales. Las 7 generaciones restantes forman las zonas de transición y respiratoria en la cual hay intercambio de gases e incluyen a los bronquiolos respiratorios, conductos alveolares y alvéolos. Estas múltiples divisiones aumentan mucho el área transversal total de las vías respiratorias, de 2.5 cm² en la tráquea, hasta 11,800 cm² en los alvéolos. Por consiguiente, la **velocidad del flujo** del aire en las vías respiratorias pequeñas disminuye a valores muy bajos.

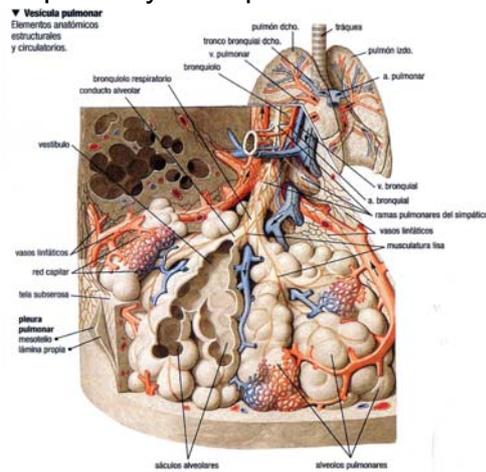
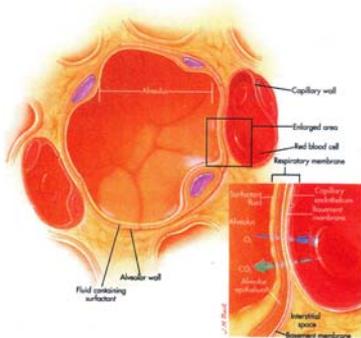


Figura 5. Alvéolos. Los alvéolos están rodeados por capilares pulmonares. En casi todas las áreas, el aire y la sangre están separados sólo por el *epitelio alveolar* y el *endotelio capilar*, por lo que están a una distancia de 0.5 μm. Según Ganong y McArdle, existen 300 millones de alvéolos en los humanos y el área total de las paredes alveolares en contacto con capilares en ambos pulmones se aproxima a 70 m². Los alvéolos están recubiertos por *células epiteliales de tipo I*, son las principales células de recubrimiento son planas y con grandes extensiones citoplásmicas y por las *células epiteliales de tipo II* (o *neumocitos granulares*), que son más gruesas y secretan *factor tensoactivo*, una sustancia que reduce la **tensión superficial** de los pulmones. El tejido alveolar tiene una provisión de sangre mayor que cualquier otro órgano del cuerpo.



Pared torácica y músculos respiratorios. La *pared torácica* se compone de *piel* y *tejido subcutáneo*, *costillas*, *vértebras torácicas*, *esternón*, *manubrio* y *músculos respiratorios*. Se considera que los músculos de la respiración –en situación de reposo– son: (i) *Diafragma*; considerado el principal músculo de la respiración

(60% motor y 40% sensitivo), su inervación motora y sensitiva proviene del nervio frénico. La contracción del diafragma es la principal responsable de la inspiración y su relajación produce, de manera pasiva, la espiración. (ii) *Músculos intercostales*, cuya acción consiste en tirar de las costillas para acercarlas entre sí, se clasifican en; (a) los *músculos intercostales externos* que tiran de las costillas hacia arriba, produciendo la inspiración; (b) los *músculos intercostales internos* que tiran de las costillas hacia abajo, esto da lugar a la espiración. (iii) *Transverso del tórax*. El cambio del volumen intratorácico se debe principalmente al movimiento hacia abajo del diafragma cuya contracción consume el 75 % del gasto energético durante la respiración en reposo.

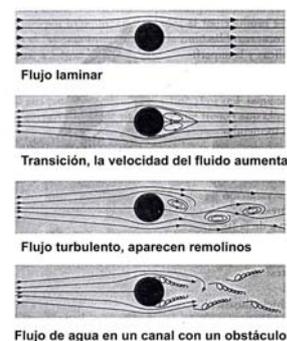
Mecánica de Fluidos, Propiedades de los gases y Flujo

Propiedades de los gases. La presión de un gas (P) es proporcional a su temperatura (T) y al número de moles (n) por volumen (V). Esto se expresa mediante la ecuación de estado de los gases ideales: $P = nRT/V$. Los gases se expanden para llenar el volumen que tengan disponible y el volumen que ocupan un número x de moléculas de gas a presión y volumen dados, en condiciones ideales, es el mismo. Debido a esto, en una mezcla de gases, la presión ejercida por cada uno es proporcional a su porcentaje de la mezcla total; esto se llama *ley de Dalton* o ley de las presiones parciales. En el aire hay aproximadamente 21% moléculas de oxígeno en el aire, de modo que el oxígeno ejerce, a nivel del mar una presión de $0.21 \times 760 \text{ mm Hg} = 160 \text{ mm Hg}$. Se puede calcular, de manera análoga la presión parcial ejercida por el nitrógeno (600 mm Hg) y el bióxido de carbono (0.3 mm Hg).

Los gases difunden de las áreas de alta presión a las de baja presión y su velocidad de difusión depende del gradiente de concentración y, si existe, de la barrera que separe ambas regiones, para nuestro estudio, de la membrana alveolar.

Observación: Es usual que se tome como referencia la presión atmosférica, haciendo que $P_{atm} = 0$ y que los autores de textos de fisiología se refieran a las presiones menores que la atmosférica como *presiones negativas* ($-P$) y a las mayores que atmosféricas como presiones positivas ($+P$). Tomando como valor estándar de la P_{atm} el de 760 mm Hg, tenemos que cuando se habla de una presión de -5 mm Hg esto corresponde a $760 \text{ mm Hg} - 5 \text{ mm Hg} = 755 \text{ mm Hg}$. Cuando se habla de una presión de $+3 \text{ mm Hg}$ entonces se trata de una presión de $760 \text{ mm Hg} + 3 \text{ mm Hg} = 763 \text{ mm Hg}$.

Figura 6, Flujo laminar y turbulento. Al estudiar la *dinámica de los fluidos* (líquidos y gases), se supondrá que todos los fluidos en movimiento exhiben un *flujo laminar*. El *flujo laminar* es el movimiento de un fluido en el que toda partícula del mismo sigue la misma trayectoria, al pasar por un punto en particular, que la seguida por las partículas anteriores. El camino de una partícula individual en un fluido en movimiento se llama línea de flujo. Estos patrones



son representativos del flujo laminar, en el que capas adyacentes de fluido se deslizan suavemente una sobre otra y el flujo es estable. Si la tasa de flujo es suficientemente alta, o si las superficies de frontera (por ejemplo, al chocar con un obstáculo) causan cambios abruptos en la velocidad, el flujo puede hacerse irregular y caótico. Esto se llama *flujo turbulento*, en él no hay un patrón de estado estable; el patrón de flujo cambia constantemente. Las líneas de corriente se rompen cuando el fluido pasa alrededor de un obstáculo; esto da origen a remolinos que absorben mucha energía del fluido, incrementándose el arrastre por rozamiento a través del mismo. (Sears *et. al*, 2004, Tippens, 1985).

Biomecánica de la respiración

Pregunta: *¿Cómo se introduce el aire en los pulmones?*

Flujo de aire hasta los pulmones. Para conseguir que el aire fluya hasta el interior de los pulmones se requiere una *presión de conducción* pues el aire fluye desde áreas de alta presión hacia áreas de baja presión. Veamos como sucede esto.

La presión a la entrada del aparato respiratorio es la atmosférica (P_{atm}). La presión en el interior de los pulmones es la presión alveolar (P_A). Por consiguiente:

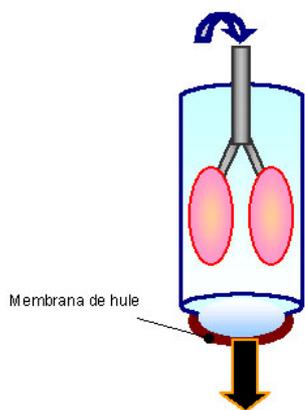
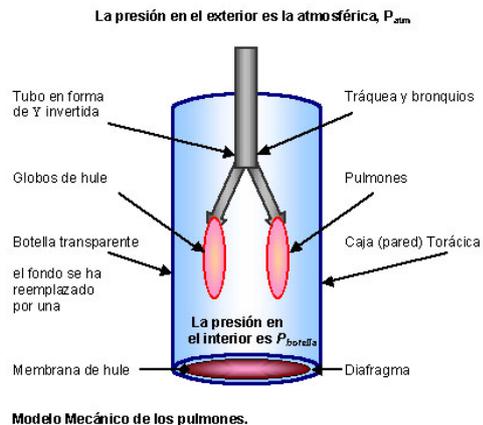
- Si $P_A = P_{atm}$, entonces no se produce flujo de aire.
- Si $P_A < P_{atm}$, entonces el aire fluye hacia el interior de los pulmones (inspiración).
- Si $P_A > P_{atm}$, entonces el aire sale de los pulmones (expiración).

Como no somos capaces de cambiar la presión atmosférica para que se produzca el flujo de aire quien debe cambiar es la presión alveolar (P_A).

Por otra parte de acuerdo con la **ley de Boyle**: Cuando se comprime un gas a temperatura constante ($T = cte$), el producto de su presión (P_i) por su volumen (V_i) siempre es constante; matemáticamente esto se expresa como: $P_1V_1 = P_2V_2$. Por lo tanto, si cambia el volumen en el interior de los pulmones la presión dentro de los mismos, también debe cambiar.

Como los pulmones no tienen músculos que pueden contraerse o expandirse de manera activa, entonces la caja torácica es la que debe expandirse; de esta manera disminuye la presión intrapleurales y los pulmones se expanden. La mayor parte de la expansión de la caja torácica **en la respiración en reposo** se debe a la contracción del diafragma. La relajación de los músculos de la pared torácica permite que, debido al retroceso elástico de los pulmones estos se contraigan y vuelvan a su tamaño original expulsando el gas contenido en ellos. Este proceso se realiza de manera pasiva en reposo o realizando ejercicio ligero como por ejemplo, caminar.

Figura 7. Modelo mecánico de los pulmones. Los principios biomecánicos de la inspiración y la espiración se pueden explicar mediante el siguiente modelo mecánico. Un tubo en forma de Y invertida será la tráquea y los bronquios; dos globos de hule, conectados a los extremos de los “bronquios” del tubo en Y simularán los pulmones; inicialmente estarán desinflados. Una botella transparente de la que se ha reemplazado el fondo por una membrana elástica de hule o un tercer globo recortado, serán respectivamente la caja torácica y el diafragma.

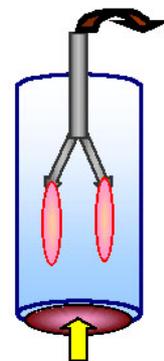


Inspiración. Al tirar hacia abajo la membrana de hule aumenta el volumen al interior de la botella, el aire atmosférico fluye por la diferencia de presiones (ley de Boyle) y los globos se dilatan.

Figura 8. Inspiración. Cuando se tira de la membrana hacia abajo, el volumen dentro de la botella-caja torácica aumenta y la presión en el interior se hace menor que la del aire exterior a ella, $P_{botella} < P_{atm}$ y en consecuencia el aire fluye inflando los globos.

Figura 9. Espiración. Si se deja volver la membrana de hule-diafragma a su sitio, la presión dentro de la botella-caja torácica aumenta, $P_{botella} > P_{atm}$ y el aire es expulsado. Se puede conseguir

que el volumen de aire contenido en los globos aumente si se aumenta la profundidad al tirar de la membrana-diafragma hacia abajo lo que ilustra como podemos hacer para modificar el *volumen corriente* (TV). Podemos conseguir que un volumen considerable de aire se intercambie dentro de los globos si aumentamos el ritmo de subida y bajada de la membrana siendo equivalente a cambiar la *frecuencia respiratoria*.



Espiración. Al soltar la membrana de hule, ésta recupera su posición inicial disminuyendo el volumen en el interior de la botella. La presión en el interior ahora es mayor que la presión atmosférica, el aire fluye desinflando los globos.

Biomecánica de la inspiración y la espiración. Los pulmones no están sencillamente suspendidos en la cavidad torácica como en el modelo de los globos. Los pulmones y la pared torácica son estructuras elásticas separadas unos de otra por una delgada capa de líquido que permite a los pulmones deslizarse sobre dicha pared. Podemos hacernos una idea de este comportamiento si colocamos dos portaobjetos mojados uno contra el otro; ambos

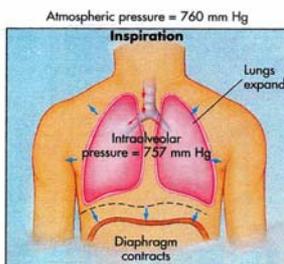
portaobjetos se deslizaran pero se resistirán a separarse. Esta resistencia a la separación, causada por una presión menor que la atmosférica en el espacio existente entre pulmones y pared torácica y denominada presión *intrapleural* hará que al final de una espiración tranquila la tendencia de los pulmones a separarse de la pared torácica se equilibre, haciendo que los pulmones regresen en la dirección opuesta.

Propiedades elásticas del pulmón. Para que tenga lugar la respiración, los músculos respiratorios deben vencer las fuerzas mecánicas de los pulmones y del tórax, en especial la tendencia al retroceso elástico. Las propiedades elásticas del pulmón se deben a: (1) Fibras elásticas y colágeno presentes en los tejidos del pulmón. (2) Fuerzas de tensión superficial² existentes en el pulmón; son causadas por la interfase alvéolo-líquido.

² *Tensión superficial.* Una de las propiedades más importantes de un líquido es su tendencia a disminuir su superficie, la cual se comporta como si fuera una membrana elástica que tratase de disminuir constantemente su área. Se denomina tensión superficial (γ) a la fuerza por unidad de longitud que actúa perpendicularmente a cualquier línea dibujada en la superficie y tiende a romper la superficie en dirección perpendicular a la línea.

Inspiración

Figura 10. Inspiración (I) *Reposo o ejercicio ligero.* Los pulmones se encuentran encerrados en la caja torácica, estructura extensible y muy articulada que puede moverse gracias a la actividad de los músculos inspiratorios.

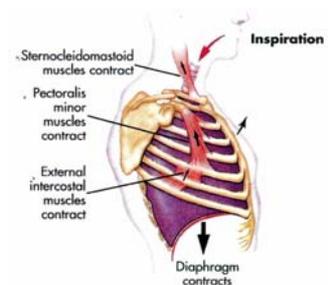


En su parte inferior, los pulmones están en contacto con el **diafragma**, que se contrae rítmicamente bajo el estímulo del nervio vago. Puesto que la contracción del diafragma se produce en concomitancia con la dilatación de la caja torácica, los pulmones se expanden. Gracias a las pleuras, que garantizan su adhesión a la cavidad pulmonar, ellos son estirados hacia abajo por el diafragma y hacia el exterior por la caja torácica. Al igual

que en el modelo mecánico, al iniciar la inspiración la presión en el interior del pulmón es menor que la atmosférica, $P_A < P_{atm}$. El equilibrio se logra con la inspiración del aire a través de boca y nariz quedando completada la inspiración cuando la expansión de la caja torácica cesa y la presión al interior de los pulmones se iguala con la atmosférica, $P_A = P_{atm}$ ⁽³⁾. En los hombres sanos, la presión máxima generada por los músculos inspiratorios varía entre 80 y 140 mm Hg.

⁽³⁾ **Observación:** esto no puede ser así ya que no tendría por que ocurrir la espiración; debe alcanzarse un valor máximo de P_A , tal que P_A sea mayor que P_{atm} para poder realizar la espiración.

Figura 11. Inspiración (II) *Realizando ejercicio.* Durante el ejercicio las *costillas* y el *esternón* también ayudan en la acción de la inspiración. Los músculos *escalenos* y



esternocleidomastoideo del cuello son músculos accesorios que contribuyen a elevar la caja torácica durante la respiración agitada y profunda. La contracción de los músculos *escalenos* y de los *intercostales externos* ocasiona un movimiento de las costillas hacia arriba y hacia afuera en una acción similar al movimiento del asa de una cubeta mientras que el esternón es empujado hacia afuera.



Figura 12. No es raro que se vea a un atleta doblarse hacia adelante para facilitar la respiración después de un ejercicio agotador. Es muy probable que esto sirva para dos propósitos: (1) facilitar el flujo de la sangre hacia el corazón y (2) reducir al mínimo los efectos antagónicos de la gravedad sobre la dirección normal hacia arriba del movimiento inspiratorio.



Espiración

Figura 13. Espiración (I) Reposo o ejercicio ligero. La espiración, el proceso de salida de aire de los pulmones es principalmente un proceso pasivo durante el reposo y el ejercicio ligero en el que $P_A > P_{atm}$. Resulta de la relajación de los músculos inspiratorios que causan que el esternón y las costillas se desplacen hacia abajo y el diafragma suba hasta su posición original; todo esto disminuye el tamaño de la cavidad torácica. Los pulmones, al ser elásticos, se vacían espontáneamente volviendo a su estado inicial; el aire contenido en ellos, ya pobre en O_2 y rico en CO_2 , es empujado hacia el exterior siguiendo una trayectoria contraria a la de la inspiración. Se completa la espiración cuando las fuerzas compresoras de la musculatura espiratoria ya no actúan, y la presión intrapulmonar disminuye hasta alcanzar la presión atmosférica, es decir $P_A = P_{atm}$ ⁽⁴⁾. Obsérvese que esto lleva a una contradicción semejante a la del párrafo correspondiente a la inspiración (Ver ⁽³⁾).

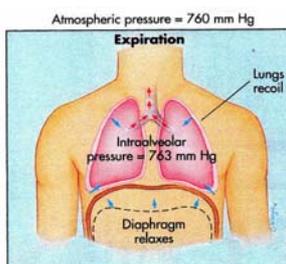
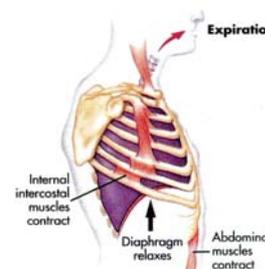


Figura 14. Espiración (II) Realizando ejercicio. Cuando los músculos espiratorios se contraen se reduce el volumen torácico y se produce la *espiración forzada*. Los *músculos intercostales internos* tienen esta acción porque pasan en sentido oblicuo hacia abajo y atrás de una costilla a la siguiente y tiran de la cavidad torácica cuando se contraen. Las contracciones de los *músculos de la pared abdominal anterior* también ayudan a la espiración al tirar de la caja torácica hacia abajo y adentro porque aumentan la presión intraabdominal la cual empuja el *diafragma* hacia arriba. Esto sugiere que los músculos de las costillas son capaces de una acción más rápida que el diafragma y los músculos abdominales.



Tras la espiración, los pulmones no quedan completamente vacíos de aire. Un pulmón completamente desinflado requeriría una cantidad mucho mayor de energía para volverse a inflar que uno cuyos alvéolos no se han colapsado.

Observación: No se han registrado grandes diferencias entre la mecánica respiratoria en los hombres y las mujeres ni entre personas de diferentes edades.

⁽³⁾ ⁽⁴⁾ Durante la respiración tranquila, la presión intrapulmonar puede disminuir en sólo 2 o 3 mm Hg durante el ciclo inspiratorio y aumentar en sólo una cantidad similar por encima de la presión atmosférica durante la exhalación. Gracias a esto es posible que sucedan tanto la inspiración como la espiración, completando las explicaciones resaltadas arriba.



Figura 15. Maniobra de Valsalva. Los músculos espiratorios desempeñan un papel importante en maniobras ventilatorias como toser y estornudar, además estabilizan las cavidades abdominal y torácica durante el levantamiento de un objeto pesado. Una espiración forzada contra una glotis⁵ cerrada se llama *maniobra de Valsalva*. Si se cierra la glotis después de una inspiración y los músculos espiratorios están activados de manera máxima, las fuerzas compresivas de exhalación pueden aumentar la presión intratorácica en más de 100 mm Hg por encima de la presión atmosférica, que se

expresa matemáticamente; $P_{A \text{ Valsalva}} = P_{atm} + 100 \text{ mmHg}$. Esta maniobra se emplea comúnmente en la *halterofilia* y actividades que requieren una aplicación rápida y máxima de la fuerza durante un espacio corto de tiempo. *La fijación de las cavidades abdominal y torácica con esta maniobra probablemente mejora la acción de los músculos que están unidos al tórax.*

⁵ La *glotis* es el espacio interior y medio de la *laringe* y la parte más estrecha a través de la cual el aire entra y sale de la tráquea, tiene forma de hendidura anteroposterior, y está limitada a los lados por las cuerdas vocales.

Consecuencias fisiológicas de la maniobra de Valsalva. El gran aumento de presión dentro de la cavidad pulmonar comprime las venas torácicas reduciendo así de manera significativa el retorno venoso al corazón; se eleva temporalmente la presión sanguínea e impone una carga de trabajo adicional al corazón. La disminución del retorno venoso puede disminuir la provisión sanguínea al cerebro y a menudo produce mareos, “puntos delante de los ojos” e incluso desvanecimiento con ejercicios de mucho esfuerzo. Por esta razón las personas que tengan una enfermedad cardíaca y vascular deberían evitar los ejercicios forzados tales como los isométricos. El flujo sanguíneo normal se restablece una vez que se abre la glotis y se libera la presión intratorácica.

Experimentos; Modelo Mecánico de la Maniobra de Valsalva: Podemos comprender como funciona la maniobra de Valsalva utilizando botellas de plástico; las que se usan para llevar agua servirán para estos experimentos.

Figura 16. Experimento 4. Si la botella está vacía y sin el tapón se la puede aplastar fácilmente al apretarla con la mano o colocando una carga encima de ella.



Figura 17. Experimento 5. Ahora tomemos una botella que sólo tenga aire adentro y cerrémosla con su tapón e intentemos aplastarla; podemos ver que aunque la botella sólo tenga aire es menos fácil aplastarla que en el caso anterior.

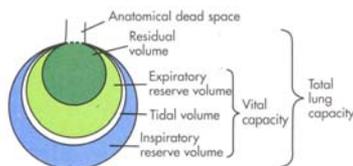


Figura 18. Experimento 6. Si la botella está llena de agua y tiene colocado el tapón observamos que es prácticamente imposible aplastarla con las manos y puede soportar muy bien una carga que se le coloque encima. Esto se explica por el *Principio de Pascal: Una presión externa aplicada a un fluido confinado se transmite uniformemente a través del volumen del fluido.* Podemos concluir que la maniobra de Valsalva confiere al cuerpo humano las propiedades de un neumático, pero sólo por un momento.



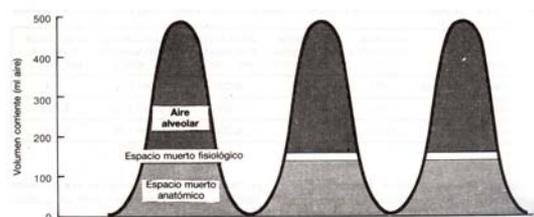
Volúmenes Pulmonares

Figura 19. Volúmenes Pulmonares. La acción respiratoria espontánea puede ser modificada a voluntad actuando sobre los músculos respiratorios. Esto da lugar a que se puedan realizar varias mediciones de los volúmenes pulmonares que reflejan la capacidad del individuo para modificar la profundidad de su respiración. En condiciones estáticas se realizan pruebas mediante un espirómetro registrador calibrado con el que se mide el consumo de oxígeno por el método de circuito cerrado.



This figure shows the pulmonary volumes at rest as relative proportions of an inflated balloon.

Figura 20. Volúmenes estáticos pulmonares. *Volumen Corriente (VC)* o *volumen de ventilación pulmonar* es el volumen de aire movido durante la inspiración o la espiración normal, dirigidas autónomamente por el sistema nervioso secundario. En condiciones de reposo los volúmenes corrientes varían normalmente entre 0.4 y 1.0 litros de aire por respiración. Nota: Algunos autores lo abrevian como TV, del inglés, *Tidal Volume*. *Volumen Inspiratorio de Reserva (VIR)*



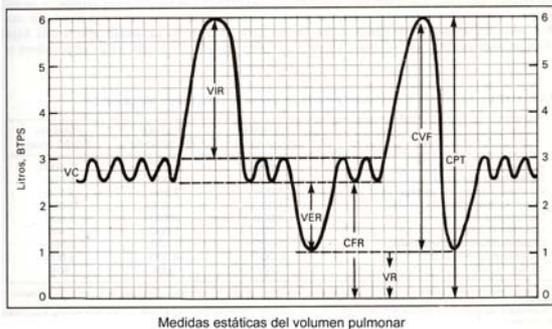
Distribución del volumen corriente en sujetos sanos en reposo. Este volumen corriente incluye alrededor de 350 ml de aire ambiental que se mezcla con el aire alveolar, alrededor de 150 ml de aire en las vías aéreas mayores (espacio muerto anatómico), y una pequeña parte del aire distribuido a alveolos mal ventilados o regados (espacio muerto fisiológico).

Se obtiene midiendo la inspiración y espiración forzadas y se obtienen valores alrededor de 2.5 a 3.5 l por encima del aire corriente.

Volumen Espiratorio de Reserva (VER) está constituido por el aire que queda dentro de los pulmones después de una espiración forzada y sus valores varían entre 1.0 y 1.5 litros. Durante el ejercicio, la utilización tanto del volumen de reserva inspiratorio como espiratorio, especialmente el primero, proporciona un aumento considerable del volumen corriente.

Capacidad Vital Forzada (CVF) es el volumen total de aire que puede ser desplazado voluntariamente desde la inspiración completa hasta la espiración forzada, o viceversa. Su expresión matemática es muy sencilla; $CVF = VC + VIR + VER$. Aunque los valores de la capacidad vital varían considerablemente con el tamaño corporal además de la posición del cuerpo durante la medición, los valores medios son normalmente 4 a 5 litros en hombres jóvenes sanos y 3 a 4 litros en mujeres jóvenes sanas. Capacidades vitales de 6 a 7 litros no son infrecuentes en individuos altos y valores de 7.6 a 8.1 litros han sido registrados para un jugador profesional de fútbol americano y un medallista de oro olímpico en esquí de fondo, respectivamente.

Figura 21. Volúmenes Estáticos pulmonares. <<Es dudoso que se puedan cambiar los volúmenes estáticos pulmonares de manera significativa mediante el entrenamiento. Sin embargo, son posibles cambios temporales en la capacidad vital en individuos sanos porque esta medida se reduce de manera significativa como resultado del ejercicio prolongado. Este cambio se debe probablemente al cierre de las pequeñas vías aéreas del pulmón, que impiden así que una persona logre una exhalación completa. >>



>> (McArdle, Katch y Katch, 1986)

Volumen Residual Pulmonar (VR): es la cantidad de aire que permanece en los pulmones aún después de realizar la exhalación más profunda posible; permite un intercambio ininterrumpido de gases entre la sangre y los alvéolos lo que impide la fluctuación de los gases sanguíneos durante las fases del ciclo respiratorio, incluso durante la respiración profunda y junto con la capacidad vital constituyen la Capacidad Pulmonar Total, CPT. En promedio, tiene valores de 1.2 y 1.4 l para los hombres y 1.0 a 1.2 l en las mujeres.

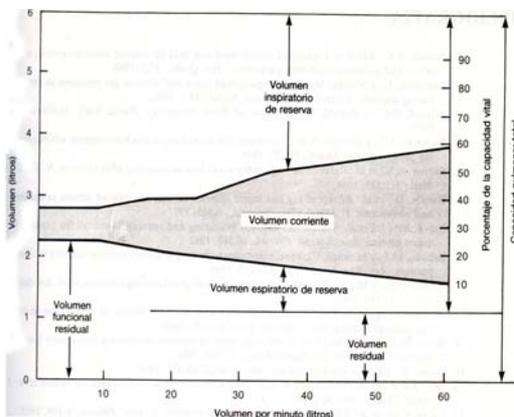


Figura 22. Volumen corriente y subdivisiones de aire pulmonar en reposo y durante el ejercicio. (Según McArdle, Katch y Katch, 1986).

Ventilación. La ventilación (V) es el movimiento de entrada y salida de aire del aparato respiratorio o flujo de aire hacia el interior y hacia el exterior del aparato respiratorio. Fisiológicamente, se define la ventilación como la cantidad de aire inspirado y espirado en un periodo de tiempo dado y la determinan dos factores: (1) La *frecuencia respiratoria* (f) o número de respiraciones por minuto (en condiciones de reposo, de 10 a 20 R/min) (2) El volumen de cada respiración llamado también *volumen corriente*. La función de la ventilación es mantener el nivel óptimo de gases en la sangre, proporcionando aire a los alvéolos donde tiene lugar el intercambio gaseoso. En respuesta a las necesidades metabólicas, las cuales cambiarían al realizar ejercicio, la ventilación se puede modificar ya sea por la alteración en el número de respiraciones por minuto o por el ajuste de la cantidad de aire que entra en los pulmones con cada inspiración.

Ventilación por minuto. Durante la respiración tranquila de reposo, la frecuencia respiratoria puede tener como promedio unas 12 respiraciones por minuto, mientras que el volumen corriente es, unos 0.5 litros por respiración. En estas condiciones, el volumen de aire inspirado cada minuto, también llamado *ventilación por minuto* (\dot{V}_E) es de 6 litros.

ventilación por minuto = frecuencia respiratoria x volumen corriente

$$\dot{V}_E = f \cdot VC = 12 \text{ (R/min)} \times 0.5 \text{ l} = 6 \text{ l/min.}$$

Durante el ejercicio vigoroso, la frecuencia respiratoria de jóvenes adultos sanos aumenta normalmente a 35 o 45 respiraciones por minuto (aunque las frecuencias respiratorias tan altas como 60 y 76 respiraciones por minuto han sido registradas durante el ejercicio máximo en un candidato olímpico de patinaje de velocidad masculino y en una femenina respectivamente). Volúmenes corrientes de 2.0 litros son comunes durante el ejercicio. Con estos datos obtendríamos que:

$$\dot{V}_E = 45 \text{ (R/min)} \times 2.0 \text{ l} = 90 \text{ l/min; } 15 \text{ veces el valor de reposo}$$

$$\dot{V}_E = 76 \text{ (R/min)} \times 2.0 \text{ l} = 152 \text{ l/min; } 25.3 \text{ veces el valor de reposo}$$

En atletas masculinos de resistencia bien entrenados, la ventilación puede aumentar hasta 160 litros por minuto como respuesta al ejercicio máximo con lo que alcanzarían 26.7 veces el valor de reposo. El valor máximo de 208 l/min fue registrado por un jugador profesional de fútbol americano durante un ejercicio máximo de pedaleo con lo que rebasó en 34.6 veces el valor de reposo. Sin embargo, el volumen corriente raramente excede el 55% de la capacidad vital tanto de los atletas entrenados como de las personas no entrenadas.

Volúmenes dinámicos pulmonares. << Al evaluar si la ventilación es adecuada, la consideración importante es la capacidad del individuo para mantener altos niveles de flujo aéreo, y no la cantidad de aire impulsado dentro de los pulmones en una respiración.>> (McArdle, Katch y Katch, 1986). La ventilación dinámica depende de dos factores (1) la capacidad vital (CV) y (2) la velocidad con que puede moverse dicha capacidad vital. La velocidad del flujo aéreo depende de la resistencia ofrecida tanto por el tórax como por el tejido pulmonar a un cambio de

dimensiones durante la respiración. La medición del Volumen Espiratorio Forzado (VEF) proporciona una indicación de la potencia espiratoria y la resistencia general al movimiento del aire dentro de los pulmones. En condiciones normales es posible expulsar 85% de la capacidad vital en 1 segundo.

Otra prueba dinámica de la capacidad vital permite obtener el *Volumen Ventilatorio Máximo* (VVM). Éste es normalmente alrededor de 25% más alto que el volumen ventilatorio porque el sistema ventilatorio no se esfuerza de manera máxima durante el ejercicio. Se han registrado valores de 140 a 180 l de aire por minuto en hombres y de 80 a 120 l de aire por minuto para mujeres. La fuerza y la resistencia de los músculos respiratorios y el VVM pueden ser aumentadas mediante ejercicios que entren la musculatura respiratoria y esto se puede conseguir tanto en sujetos normales como en pacientes pulmonares.

La función pulmonar, el entrenamiento y el rendimiento físico en atletas.

En estudios que se han hecho en atletas, según McArdle, no se notaron diferencias en los valores medios de capacidad vital de luchadores prepubescentes y olímpicos, atletas de medio fondo entrenados y sujetos sanos no entrenados. Los valores de la función pulmonar tanto estática como dinámica en los maratonistas de élite no fueron diferentes al compararlos con controles no entrenados de tamaño corporal comparable. Jugadores de un equipo profesional de fútbol americano tenían un promedio del 94% de su capacidad vital estimada, con los defensas que lograban sólo el 83% de los valores estimados como "normales" para su tamaño corporal.

Puede ser que la natación y el buceo sean más propicios para desarrollar una capacidad vital mayor que lo normal. En estos deportes, los músculos inspiratorios se fortalecen probablemente al trabajar en contra de la resistencia adicional ofrecida por el peso del agua comprimiendo la caja torácica.

No se demostraron diferencias entre los grupos (nadadoras competidoras de 10 años vs. nadadoras no seleccionadas y niñas no entrenadas) en las medidas estáticas ni dinámicas de la función pulmonar, aunque la respuesta cardiovascular al ejercicio fue significativamente más eficiente en las nadadoras entrenadas.

La incapacidad para estimar el rendimiento físico en individuos sanos a partir de las medidas de la función pulmonar se demostró también en un gran grupo de adolescentes que asistían a un campamento de verano. Al comparar volumen y capacidad pulmonar con relación al tamaño corporal no había esencialmente ninguna relación entre la función pulmonar y las varias marcas conseguidas en (pruebas de) pista, incluyendo una carrera de fondo. En estudios realizados en maratonistas no se encontró ninguna diferencia entre los valores reales de las medidas de la función pulmonar y los valores de sujetos sedentarios de un tamaño corporal similar.

Cuando se consideran las variaciones en el tamaño corporal, los investigadores encontraron que no existe una relación entre el consumo máximo de oxígeno y la capacidad vital ni el volumen máximo de ventilación en sujetos sanos no entrenados.

Aunque las sensaciones de fatiga en el ejercicio vigoroso a menudo se relacionan con sentirse “sin aliento” parece que la capacidad normal para la ventilación pulmonar no limita el rendimiento físico.

Los volúmenes pulmonares mayores de lo normal y capacidades respiratorias de algunos atletas se han atribuido generalmente a diferencias en su dotación genética y pueden reflejar unos músculos respiratorios fortalecidos debido al entrenamiento específico del ejercicio.

El entrenamiento físico regular y prolongado (20 semanas) mediante ejercicios de carreras puede ser beneficioso para mejorar la habilidad de mantener altos niveles de ventilación *submáxima*. Se piensa que la mejora de la resistencia ventilatoria puede deberse en parte a un aumento de los niveles de enzimas aeróbicas en los músculos ventilatorios.

Parece que la reducción en la ventilación durante el ejercicio submáximo, combinado con una mayor resistencia de la musculatura respiratoria conseguida gracias al entrenamiento demora la fatiga ventilatoria observada tanto en el ejercicio a corto como a largo plazo.

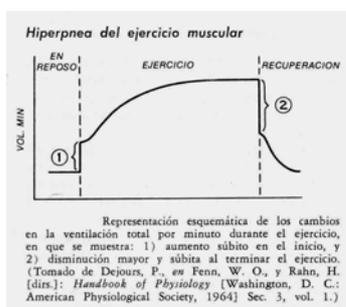
Cuando un sujeto sedentario ventila hasta los niveles de ejercicio intenso se produce fatiga ventilatoria que puede relacionarse con sensaciones de estar sin aliento y una molestia pulmonar local porque el lactato sanguíneo queda significativamente elevado.

La tos que sigue a la realización de algún ejercicio. Para muchas personas, el ejercicio se asocia a menudo con una sequedad en la garganta y tos durante el período de recuperación. Esto es especialmente común después del ejercicio con temperaturas frías. El fenómeno de la tos que sigue al ejercicio se relaciona directamente con el ritmo general de pérdida de agua del tracto respiratorio, en lugar de la pérdida de calor respiratorio, asociada con volúmenes ventilatorios grandes durante el ejercicio.

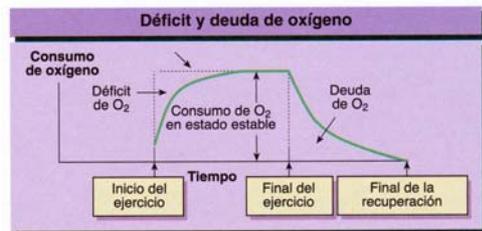
Ventilación alveolar. Una parte del aire de cada respiración no entra en los alvéolos y no participa en el intercambio gaseoso con la sangre. En sujetos sanos ocupa un volumen de 150 a 200 ml, 30% del volumen corriente de reposo y su composición química es casi idéntica a la del aire ambiental, excepto por estar completamente saturado de vapor de agua. Debido a esto, si el volumen corriente es de 500 ml, 500 ml de aire entran en los alvéolos pero sólo 350 ml (70%) son de aire fresco. Una ventilación alveolar tan pequeña y, en apariencia, tan ineficiente impide que haya cambios drásticos en la composición del aire alveolar y asegura consistencia en los gases arteriales durante el ciclo respiratorio. Cuando se realiza una respiración más profunda se puede obtener una ventilación alveolar más efectiva que la que se obtendría aumentando la frecuencia respiratoria.

Profundidad contra frecuencia. Durante el ejercicio, se mantiene la ventilación alveolar mediante un incremento tanto de la frecuencia como de la profundidad de la respiración. Con el ejercicio moderado, los atletas bien entrenados logran una ventilación alveolar adecuada aumentando el volumen corriente con sólo un pequeño aumento de la frecuencia respiratoria.

Figura 23. El consumo de oxígeno no aumenta de forma inmediata una vez que se inicia la actividad física. De hecho, al inicio del ejercicio el consumo de oxígeno es inferior al requerido para mantener una situación de equilibrio. Esta diferencia entre el oxígeno necesario y el aportado realmente durante las primeras fases del ejercicio se conoce como *déficit de oxígeno*. Conforme el ejercicio se vuelve más intenso, los aumentos en el volumen corriente empiezan a llegar a una meseta y se aumenta la ventilación por minuto adicionalmente mediante un aumento de la frecuencia respiratoria. Estos ajustes ocurren inconscientemente; cada individuo desarrolla un “estilo” de respiración en el que la frecuencia respiratoria y el volumen corriente se mezclan para proporcionar una ventilación alveolar eficaz.



Figuras 24 y 25. Una vez finalizado un ejercicio físico, el consumo de oxígeno no retorna de inmediato a los valores de reposo, sino que lo hace de manera progresiva. A este volumen de oxígeno consumido por encima de los valores iniciales de reposo se le denomina *deuda de oxígeno*. Ésta depende de la magnitud del esfuerzo y de la capacidad del deportista de suministrar la cantidad de oxígeno necesaria durante el desarrollo de la actividad.



<<Las tentativas conscientes para modificar la respiración durante actividades físicas globales tales como la carrera normalmente están destinadas a fracasar y probablemente no son beneficiosas en términos del rendimiento...En reposo como en el ejercicio cada individuo debería respirar de la manera que le parezca la más natural. >> (McArdle, Katch y Katch, 1986)

Distensibilidad de los pulmones y de la pared torácica

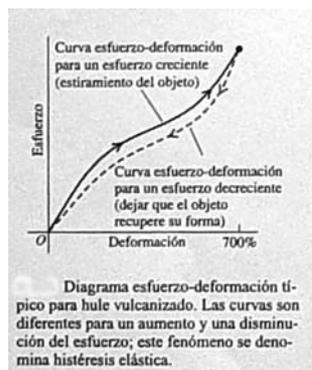
Distensibilidad pulmonar. Cuando se habla de las propiedades elásticas del pulmón es en referencia al *estiramiento*; a la capacidad de los pulmones para expandirse bajo presión se le denomina *distensibilidad (D)*. La presión para el inflado de los pulmones viene dada por la diferencia entre las presiones intrapleurales e intra pulmonares. A dicha diferencia se le denomina *presión transmural*. En un gráfico *presión de distensión vs. volumen* la *distensibilidad* queda representada por la pendiente de la curva, $\Delta V:\Delta P$.

Como las propiedades estáticas del pulmón **no cambian con el tiempo**, la mecánica estática del pulmón ayuda a explorar algunas cualidades de los pulmones en estado aislado. Sin embargo, en la vida real, el aire corre por el aparato respiratorio, lo que hace necesario un estudio de la dinámica pulmonar

para obtener un panorama amplio de lo que ocurre durante la respiración. Debido a esto, la distensibilidad pulmonar se considera como: *Distensibilidad pulmonar estática*; comprende el inflado de los pulmones en fases de distinta presión de inflado y el registro del volumen para cada nueva presión. *Distensibilidad pulmonar dinámica*; esta es la medida del cambio en el volumen del pulmón durante la respiración e incluye el *trabajo* que se requiere para vencer la *resistencia* de la vía respiratoria. **Observación:** Las curvas de inflado y desinflado del pulmón son diferentes. A dicha diferencia se le llama **histéresis**.

Distensibilidad de la pared torácica. La pared torácica tiene propiedades elásticas. Al inspirar, las fuerzas elásticas expanden la pared torácica y ayudan al inflado; sin embargo, a casi dos tercios de la capacidad pulmonar total, la pared torácica alcanza su posición de reposo y cualquier expansión que supere dicho punto requiere una presión mayor que la atmosférica -o presión positiva- para estirar la pared torácica. Por debajo de la posición de reposo, la pared torácica queda comprimida por la diferencia de presión, entre la atmósfera y la región intrapleural.

Figura 26, Histéresis. En la figura 26 (izquierda) se muestra una curva de esfuerzo-deformación de hule vulcanizado estirado a más de siete veces su longitud original. El esfuerzo no es proporcional a la deformación pero el comportamiento es elástico porque, al retirarse la carga, el material recupera su longitud original. Sin embargo, el material sigue curvas diferentes cuando aumenta y cuando disminuye el esfuerzo. Esto se denomina *histéresis elástica*. El trabajo efectuado por el material cuando recupera su forma original es menor que el requerido para deformarlo; hay fuerzas no conservativas [y por lo tanto, disipación de la energía] asociadas a la fricción interna. El hule con histéresis elástica grande es muy útil para absorber vibraciones, como en las monturas de motores y bujes amortiguadores para auto. (Sears *et al*, 2000).



El trabajo efectuado por el material cuando recupera su forma original es menor que el requerido para deformarlo; hay fuerzas no conservativas [y por lo tanto, disipación de la energía] asociadas a la fricción interna. El hule con histéresis elástica grande es muy útil para absorber vibraciones, como en las monturas de motores y bujes amortiguadores para auto. (Sears *et al*, 2000).

Una forma de visualizar la histéresis. Cuando se sube por la escalera desde la planta baja hasta el 4^o piso de un edificio sentimos cansancio y jadeo; puede transcurrir algún tiempo para recuperarnos del esfuerzo. Subir la escalera requirió un trabajo contra la gravedad y un gasto energético. Sin embargo cuando regresamos a la planta baja no experimentamos cansancio ni jadeo; ahora nos desplazamos a favor de la gravedad y el trabajo realizado es diferente así como el gasto energético.

Volviendo al estudio del pulmón, la histéresis de la curva presión-volumen se explica por una *propiedad del surfactante*: la tensión superficial del surfactante⁶ muestra valores diferentes en la expansión (inspiración) y en la compresión (expiración).

⁶ *Surfactante*. Se trata de una sustancia que disminuye la tensión superficial, es segregado en los pulmones por los neumocitos de tipo II.

Trabajo mecánico y fluidos: Los músculos de la respiración realizan trabajo mecánico para vencer la resistencia al flujo de aire y al distender a los tejidos elásticos de los pulmones y de la pared torácica. El trabajo (W) se define como el producto de la fuerza (F) por el desplazamiento (ΔL), es decir, $W = F \cdot \Delta L$; como la presión es $P = F/A$, entonces el trabajo (W) que se realiza para cambiar el volumen de un gas ($\Delta V = A \cdot \Delta L$) a presión constante (P) está dado por:

$$W = P \cdot \Delta V = (F/A) \cdot \Delta V = F \cdot \Delta L$$

Además, el trabajo mecánico representa el cambio en la energía (E); $W = \Delta E$. Por lo que podemos afirmar que $P \cdot \Delta V = \Delta E$.

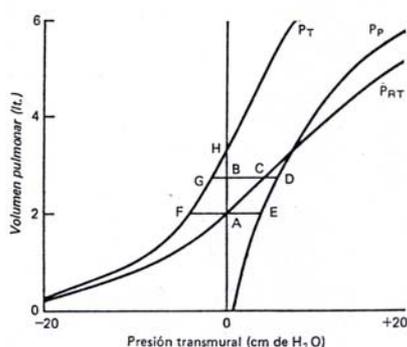
Dinámica de la ventilación. Al inflar los pulmones se dan *condiciones dinámicas*. Además de vencer las propiedades elásticas del pulmón durante la ventilación, se debe vencer también la *resistencia dinámica al inflado del mismo*.

La diferencia de presión total (P_T) necesaria para inflar los pulmones es la suma de la presión para vencer la *distensibilidad pulmonar* (P_{COM}) y la presión para vencer la *resistencia dinámica* (P_{DYN}). $P_T = P_{COM} + P_{DYN}$.

A su vez, la resistencia dinámica se compone de: (1) La resistencia que ofrecen las vías respiratorias al flujo de aire hacia el interior del pulmón. (2) La resistencia viscosa de los tejidos. Esta se presenta cuando los tejidos se deslizan entre sí y constituye alrededor del 20% de la resistencia dinámica total.

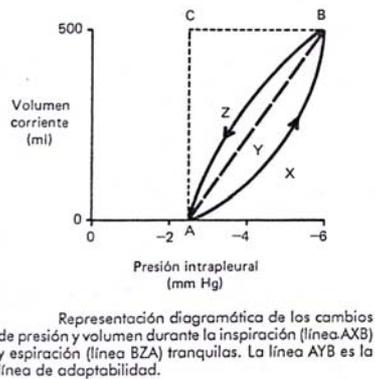
Para vencer dichas resistencias es necesario aplicar presión. Sean P_{AR} la presión para vencer la resistencia de las vías respiratorias y P_{VTR} la presión para vencer la resistencia viscosa de los tejidos. Entonces: $P_{DYN} = P_{AR} + P_{VTR}$. Por lo que tenemos que $P_T = P_{COM} + P_{AR} + P_{VTR}$ para el caso dinámico. La resistencia de la vía respiratoria durante el ejercicio puede aumentar significativamente debido al elevado flujo aéreo que induce **turbulencia**. En estas circunstancias es frecuente cambiar a la respiración por la boca para reducir la resistencia de la vía respiratoria.

Figura 27. Trabajo respiratorio. El trabajo efectuado en la respiración puede calcularse empleando la curva de presión de relajación que se muestra en la figura 27. El trabajo elástico total requerido para la inspiración (P_{RT}) es el área ABCA. Observamos que la curva P_{RT} es diferente de la curva de presión de relajación de los pulmones (P_P). El trabajo elástico que se requiere para aumentar el volumen de los pulmones queda representado por el área ABDEA. La cantidad de trabajo elástico necesaria para inflar todo el aparato respiratorio es menor que la necesaria para inflar solamente los pulmones porque parte del trabajo proviene de la energía elástica que almacena el tórax. La energía elástica perdida por el tórax, área AFGBA, es igual a la ganancia de los pulmones, área AEDCA.



Curva de presión de relajación del aparato respiratorio total (P_{RT}) y sus componentes, la curva de presión de relajación de los pulmones (P_P) y del tórax (P_T). La presión transmural es presión intrapulmonar (P_A) menos presión intrapleural (P_B) en el caso de los pulmones. La P_P menos la presión externa (barométrica) (P_B) en el caso de la pared torácica, y P_A menos P_B en el caso de la totalidad del aparato respiratorio.

Figura 28. Durante la respiración tranquila la resistencia a la fricción por el flujo de aire es pequeña aunque suficiente para generar cambios de presión intrapleurales que conducen a modificaciones en el volumen pulmonar durante la inspiración y la espiración produciéndose histéresis, esto lo puede observar cuando se grafica la presión contra el volumen. En esta gráfica, el área AXBYA representa el trabajo realizado para vencer la resistencia de la vía respiratoria y la viscosidad pulmonar. Si el flujo de aire se vuelve turbulento durante la respiración rápida –lo cual puede suceder cuando se realiza ejercicio o en situaciones de ansiedad- la energía que se requiere para mover el aire se vuelve más grande. Se considera que en condiciones de reposo la respiración representa aproximadamente



el 2% del costo total del metabolismo; las estimaciones del trabajo total en respiración en reposo (o respiración tranquila) oscilan entre 0.3 y 0.8 kgf·m/min. Este valor se eleva notablemente al realizar ejercicio pero aún así, el costo energético representa menos del 3% del gasto total de energía durante el ejercicio.

Podemos ver entonces que el trabajo respiratorio necesario para inflar los pulmones y, por lo tanto, el costo metabólico pueden aumentar si: (i) Los pulmones se inflan hasta un volumen mayor. (ii) La distensibilidad pulmonar disminuye (por ejemplo, en fibrosis pulmonar). (iii) La resistencia de la vía respiratoria aumenta. (iv) Aparece **flujo turbulento** en las vías respiratorias (estas pueden aparecer durante el ejercicio físico intenso). Por otro lado, el trabajo respiratorio puede disminuir por acción de broncodilatadores que reducen la resistencia de la vía respiratoria.

También es posible definir la *eficacia* (e) o eficiencia de la respiración, es decir, la cantidad de trabajo realizado (W) dividido por la entrada energética (E): $e(\%) = (W/E) \times 100$. La eficacia de la respiración normal en reposo tiene un valor de alrededor de 10% en individuos sanos. No se encontró reporte del valor (o valores) que alcanza la eficiencia al realizar ejercicio.

Espacio muerto

El espacio muerto contra el volumen corriente. En realidad, el espacio muerto anatómico aumenta al incrementarse el volumen corriente; durante la respiración profunda puede llegar a duplicarse debido a algún estiramiento de los tractos respiratorios. Una respiración más profunda propicia una ventilación alveolar más efectiva que una ventilación por minuto similar lograda sólo mediante un aumento en la frecuencia respiratoria.

El espacio muerto fisiológico. Como ejemplo, en reposo, aproximadamente 4.2 litros de aire ventilan los alvéolos cada minuto, mientras que un promedio de 5.0 litros de sangre fluye a través de los capilares pulmonares. En este caso, la razón

de perfusión:ventilación es aproximadamente: $4.2/5.0 = 0.8$. En el ejercicio ligero la razón de perfusión:ventilación se mantiene alrededor de 0.8.

En el ejercicio intenso hay un aumento desproporcionado en la ventilación alveolar. En sujetos sanos la razón de perfusión:ventilación puede aumentar por encima de 5.0 para asegurar una aireación adecuada de la sangre que vuelve en la circulación venosa. El espacio muerto fisiológico en el pulmón sano es pequeño y puede considerarse como no importante.

Potencia Aeróbica. Ahora estudiaremos qué es la *potencia aeróbica*, cómo se mide y cuál es su papel en el rendimiento físico. Para responder esto primero necesitamos definir que son el *metabolismo anaeróbico* y el *metabolismo aeróbico*.

Metabolismo Anaeróbico. Los primeros mecanismos que se ponen en marcha para la reposición intracelular de *trifosfato de adenosina* (ATP) durante la actividad muscular forman parte del denominado *metabolismo anaeróbico*, es decir, el que se realiza en ausencia de oxígeno. En él, las fibras musculares reponen el ATP que consumen mediante los *mecanismos de la fosfocreatina y de la glucólisis anaeróbica*. Gracias a la *glucólisis anaeróbica* es posible realizar actividades que requieren un intenso esfuerzo físico, como levantar pesos o realizar ejercicios gimnásticos “duros”. Sin embargo, solamente puede mantenerse, como máximo, hasta 2 minutos porque como producto final de la glucólisis anaeróbica se genera *ácido láctico*, sustancia que, al acumularse provoca dolor muscular.

Metabolismo Aeróbico. El *metabolismo aeróbico* se desarrolla en presencia de *oxígeno*; el mecanismo básico para la obtención de energía por parte de la fibra muscular es la combustión u oxidación de los nutrientes que dicha fibra tiene almacenados en su interior o bien, de los que le llegan con la circulación sanguínea. Durante este proceso los nutrientes se desdoblan y liberan la energía necesaria para que el *ADP* incorpore *ácido fosfórico* y se transforme en *ATP*. Los metabolitos finales de estos procesos corresponden básicamente a moléculas de *agua* y *ácido carbónico*. El ácido carbónico pasa a la sangre y se elimina a través de la respiración, ya en forma de *dióxido de carbono*, por lo que no se acumula en el músculo. El metabolismo aeróbico ofrece hasta 10 veces más moléculas de ATP que los mecanismos anaeróbicos pero tiene el límite que impone la cantidad máxima de oxígeno que puede aportarse mediante las capacidades máximas del sistema cardiorrespiratorio. Por esto, permite mantener actividades físicas ligeras o moderadas durante períodos de tiempo muy prolongados, como correr durante 30 minutos, pero no permite mantener esfuerzos físicos muy intensos. Sin embargo, el metabolismo aeróbico tiene un límite, más allá del cual, las reservas energéticas se agotan y el cansancio muscular impone reposo.

Capacidad Metabólica. <<Todos poseemos la capacidad para utilizar el metabolismo anaeróbico y aeróbico, aunque la capacidad de cada forma de transferencia de energía varía considerablemente de individuo a individuo. Esta variabilidad fundamenta el concepto de *diferencias individuales* en la capacidad metabólica para realizar ejercicio. La capacidad de una persona para la

transferencia energética no es sencillamente un factor general, sino que depende de la forma en que se entrena y se evalúa. Por ejemplo, que una persona tenga un alto consumo de oxígeno durante un ejercicio de carrera no asegura que disponga de una potencia aeróbica similar para nadar o remar. Esta *especificidad* de la capacidad metabólica se observa incluso en actividades que utilizan músculos similares, tales como el ciclismo, la carrera y la marcha. Además, el entrenamiento para conseguir una alta potencia aeróbica probablemente contribuye poco a la capacidad del individuo para generar energía anaeróbica y viceversa. Por lo tanto, términos como “velocidad”, “potencia” y “resistencia” deben definirse cuidadosamente dentro del contexto de los patrones de movimiento específico y de las necesidades específicas metabólicas y fisiológicas de una actividad>> (McArdle, Katch y Katch, 1986)

Potencia. En Física se define potencia (P) como la rapidez con que se realiza un trabajo; $P = W/t = F \cdot \Delta L / \Delta t$, donde Δt es el intervalo de tiempo en el cual se efectúa el trabajo.



Figura 29. Evaluación del sistema de energía inmediato y pruebas de potencia aeróbica. Las pruebas de rendimiento que causan una activación máxima del sistema han sido desarrolladas para evaluar la capacidad de este medio inmediato de transferencia de energía, o sea, la rapidez con que se realiza un trabajo por lo que estas pruebas se denominan *pruebas de potencia*. Entre otras se encuentran la *prueba de potencia de Margaria*, en la que el sujeto sube corriendo una escalera a toda velocidad, las pruebas de potencia de *saltar y tocar de Sargent*, figura 29, que se marca

como la diferencia entre el punto máximo que alcanza una persona tocando con la mano por encima de su cabeza y la altura máxima a la que alcanza con un salto desde la posición estacionaria, el *salto largo desde una posición parada* así como cualquier ejercicio que requiera un esfuerzo máximo de una duración de 4 a 6 segundos, como las carreras de velocidad y las carreras en bicicleta.

Figura 30. Ejercicios de carrera a pie. Observación: Las pruebas de carrera de velocidad (100 m, 200 m y 400 m planos) se consideran *pruebas anaeróbicas* debido a su corta duración. Mientras que pruebas de carrera de mayor distancia (medio fondo, fondo, maratón) son pruebas aeróbicas.



Mediciones de la potencia máxima aeróbica. El consumo máximo de oxígeno puede determinarse mediante ejercicios que activen los grandes grupos musculares siempre que sean de suficiente intensidad y duración para implicar la transferencia aeróbica máxima. Las formas usuales de ejercicio incluyen andar o correr en la *caminadora*, subir y bajar un escalón o pedalear en bicicleta fija, natación libre y lastrada, remo y patinaje sobre hielo. La investigación se ha dirigido hacia el desarrollo y la normalización de pruebas de potencia aeróbica

máxima y hacia el establecimiento de las normas de esta medición con relación a edad, sexo, estado de entrenamiento y composición corporal. Este tipo de estudio proporciona gráficos como el mostrado en la figura 31.

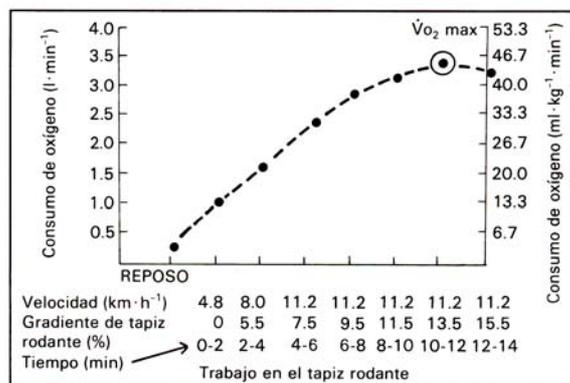
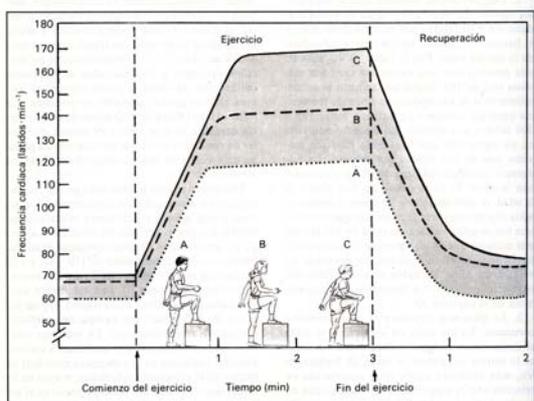


Figura 31. Disminución del consumo de oxígeno con una producción de mayor trabajo en el tapiz rodante (caminadora). Cada punto representa el promedio del consumo de oxígeno de 18 sujetos varones sedentarios. (Según McArdle, Katch y Katch, 1986).

La realización de pruebas de consumo máximo de oxígeno han demostrado que: (1) el estado de

entrenamiento, la motivación y la regulación ácido-base son factores que pueden explicar las diferencias entre los individuos en cuanto a la capacidad de los sistemas energéticos inmediatos y a corto plazo. (2) El consumo máximo de oxígeno proporciona información importante acerca de la potencia del sistema energético a largo plazo. (3) La potencia aeróbica máxima revela la influencia de la herencia, el estado de entrenamiento, la edad, el sexo y la composición corporal ya que cada factor contribuye al consumo máximo de oxígeno de un individuo.

Figura 32. En cuanto a cómo se realizan las pruebas de potencia aeróbica y la medición del consumo máximo de oxígeno encontramos que dichas mediciones requieren un laboratorio y equipo especializados, además, los sujetos que se prestan a tales mediciones lo hacen bajo fuerte motivación. Estas pruebas no son adecuadas para medir grandes grupos de personas no entrenadas ya que durante la realización de dichas pruebas se debe realizar ejercicio sumamente vigoroso, lo cual requiere supervisión médica. Sin embargo existen algunas pruebas que pueden realizarse con mayor facilidad como son



La respuesta de la frecuencia cardíaca de tres personas durante un ejercicio de escalón y la recuperación

las *carreras de resistencia*, estimaciones basadas en la *frecuencia cardíaca* (en el mercado se pueden encontrar instrumentos electrónicos que realizan dicha medición) y la *prueba del escalón*.

Figura 33. Espirómetro digital con boquilla desechable. La UNAM cuenta con un laboratorio para realizar pruebas de potencia aeróbica. Éste se encuentra en la Dirección de Medicina del Deporte, a unos pasos del costado sur del Estadio Olímpico Universitario.



Figura 34. Equipo e instrumentos de la Dirección de Medicina del Deporte de la UNAM empleados para la valoración de la potencia en deportistas.



Aplicaciones a la realización de ejercicio físico. A continuación revisaremos lo que dicen algunos manuales deportivos respecto a *técnicas de respiración*, entendiendo que estamos investigando la biomecánica de la *respiración externa*.

<<La **Respiración**. La respiración se adapta al ritmo y la forma de los ejercicios. Sin embargo, en el transcurso de algunos ejercicios la naturaleza del esfuerzo impone al practicante una técnica respiratoria particular, con objeto de evitar el <<bloqueo>> de la respiración y sus nefastas consecuencias sobre los vasos sanguíneos y el corazón. Es preciso inspirar en el momento del esfuerzo principal (elevando o empujando una carga) y EXPIRAR al volver a la posición de partida. Hay que evitar el esfuerzo realizado en apnea, es decir, conteniendo la respiración. >> (Battista, 1969) Posteriormente, el texto de Battista da indicaciones de como mover una carga, -aplicables a ejercicios anaeróbicos e isométricos-, pero no vuelve a dar indicaciones sobre técnicas de respiración.



Figura 35. Pilates. Una serie de ejercicios que hoy día están de “moda” son los llamados *Pilates*, etiquetados (y vendidos) por los medios de comunicación como “el nuevo entrenamiento de culto de las estrellas”. Podemos encontrar series de estos ejercicios en revistas populares, se encuentran disponibles en DVD y existen numerosos gimnasios que ofrecen la enseñanza de esta técnica, la cual ofrece ejercicios que buscan fortalecer la musculatura y mejorar la flexibilidad sin agregarles volumen a estos; algunos de estos ejercicios son muy semejantes a los ejercicios que se pueden encontrar en los manuales de Yoga, lo cual lo podemos observar en la serie de fotografías de Joseph Pilates. Veamos algo respecto a la técnica de los *ejercicios Pilates*.

“**Powerhouse**”. Pilates denominó “*powerhouse*”⁷ a la mitad del cuerpo comprendida entre la pelvis y el tórax. La actividad del “powerhouse” consiste en el manejo de la tensión de los músculos de la pelvis y los músculos abdominales profundos; esto mantiene el abdomen liso. Los principios básicos del método

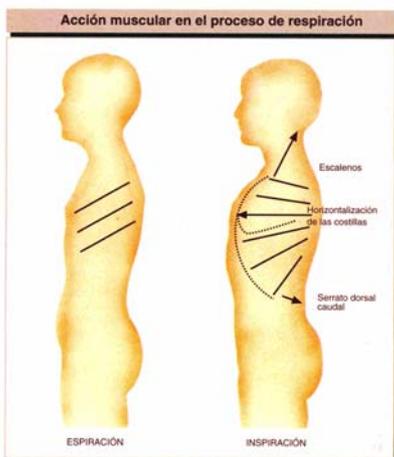
Pilates consisten en la coordinación correcta del ritmo de la respiración [es decir, inspiración y espiración] y movimiento. Lograr esto de inicio puede llevar alguna dificultad <<pero como principiante hay suficiente con hacer los movimientos correctamente. Requiere un poco de ejercicio [práctica, intentos, ensayos, pruebas] para coordinar la fluidez de movimiento con la respiración...aprenda primero el transcurso de los movimientos...Respire sencillamente de manera natural sin aguantar el aire. Cuando el transcurso de los movimientos esté claro, lea otra vez el texto y comprenda claramente a fondo el ejercicio. Se sorprenderá de cuán instintivamente ha respirado “correctamente”. >> (Kuhnert, 2002).

Figura 36. Activando el “powerhouse”. La mano izquierda de la instructora ayuda a la practicante a mantener apretado el “powerhouse. Otro manual de Pilates traduce el término “powerhouse” como << “central eléctrica” por ser la zona donde se genera la energía y la fuerza que luego es transmitida a las otras partes del cuerpo >> (Thorley, 2002) Esta autora menciona que en las artes marciales chinas, como el *Tai-Chi* y el *Kung-Fu*, se llama *tantien* al “powerhouse”.



⁷ Nota. La traducción literal de “powerhouse” podría ser “casa de poder” o también, “casa de potencia”; hacemos el apunte de que la región abdominal no se comporta como una planta generadora de corriente eléctrica y de que no es fácil hacer una traducción adecuada empleando un criterio biomecánico, entre otras razones por el significado particular que tiene la *potencia*. en Física Desde luego, es probable que las diferentes referencias a la técnica Pilates utilicen diferentes traducciones para el término “powerhouse”.

Figura 37. La técnica de respiración Pilates. Consideremos lo siguiente: (i) **Respirar en el tórax superior**, elevando el pecho, tiene la desventaja de que los hombros van hacia las orejas y que la nuca se inclina hacia atrás y sólo produce una respiración superficial. (ii) Por principio la **respiración abdominal**, subiendo y bajando el diafragma, es una buena técnica de respiración, especialmente para la relajación profunda, pero en el método de Pilates colisiona con la tensión muscular que mantiene el abdomen liso. (Kuhnert, 2002; Thorley, 2002).



Tomando esto en cuenta, la técnica de Pilates emplea << la **respiración lateral del tórax** para proveer al cuerpo con el máximo de oxígeno. Considerando que las mitades de los pulmones se encuentran bajo el tórax al expandir la parte inferior de la caja torácica hacia abajo y a los laterales utilizamos la capacidad pulmonar de manera óptima y absorbemos más oxígeno. Además, con ello estiramos al mismo tiempo los músculos pequeños situados entre las costillas y

los mantenemos flexibles. Esto conlleva a más movilidad en la parte superior del cuerpo. Pruébalo colocando sus manos en las costillas inferiores y guíe su respiración directamente hacia sus manos. Con la inspiración sus manos se apretarán (*sic*) entre sí y su espalda se ensanchará. Cuidado que este “ensanchamiento” sólo va hacia los laterales y los hombros no resbalan de nuevo hacia arriba. Un poco de ejercicio y pronto se familiarizará con esta “respiración Pilates”... Reglas importantes para la respiración: Inspire durante la fase de pausa preparándose para la fase siguiente del ejercicio, prolongue la columna vertebral. Espire mientras se mueve o en la parte más agotadora del ejercicio. Nunca debe retener la respiración cuando un ejercicio sea difícil. Inspire por la nariz, espire por la boca. Al respirar, abra la boca con relajación, desde la articulación del maxilar y deje salir el aire sin esforzarse y sin tensar los labios. >> (Kuhnert, 2002) Esta referencia contiene ejercicios con instrucciones detalladas de la página 16 a la 45; Por otra parte Thorley da indicaciones sobre la realización de ejercicios Pilates, enfatizando el empleo de la respiración torácica, desde la página 22 hasta la página 59.

Podríamos ser sumamente escépticos respecto a los *ejercicios Pilates*, sin embargo estas técnicas no son de descubrimiento reciente; Joseph Pilates generó el sistema que lleva su nombre y lo enseñó en su gimnasio en Nueva York desde 1926. En 1960 a consecuencia de una lesión, la bailarina y coreógrafa mexicana Gloria Contreras aprendió los *ejercicios Pilates* de Carola Trier, alumna de Joseph Pilates. Contreras aprendió otros ejercicios de Rommett, Beamich y Horvat con los que desarrolló una técnica a la que denominó *Contrología* y que transmitió a los bailarines de su compañía de danza. Esta técnica se enseña en el Seminario del Taller Coreográfico de la UNAM desde el año de 1974 a la fecha.

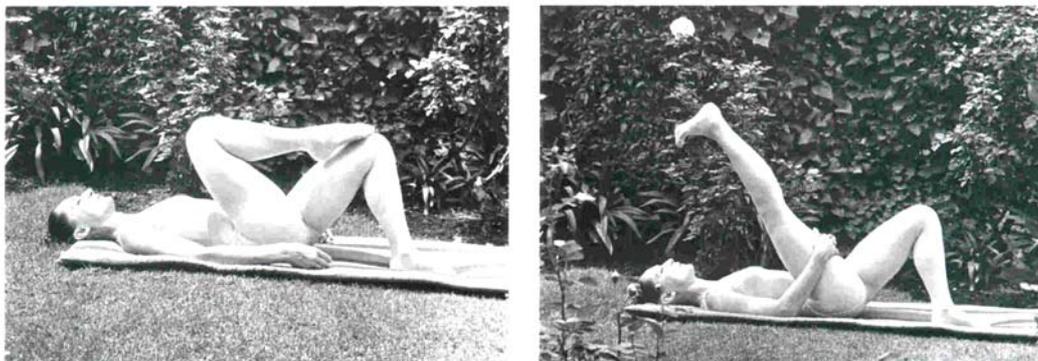


Figura 38. Contrología. << La contrología es una serie de movimientos ... cuyo objetivo principal es complementar los ejercicios de las clases de ballet, los cuáles no proporcionan toda la flexibilidad que uno imaginaría sino que en ocasiones el exceso de éstas [clases de ballet] provoca tensión en el cuerpo haciéndolo cada vez menos moldeable... esta serie de ejercicios están acompañados de un *método de respiración*... Con frecuencia los bailarines se cansan en exceso porque no respiran correctamente. *Un ejercicio siempre tiene un ritmo y una respiración acorde a éste. He descubierto que si respiro arrítmicamente; inhalo en dos tiempos y exhalo en tres, cuatro, cinco o en seis, es mejor*... Siempre

debemos exhalar como si no quisiéramos que se notara, inhalamos por la nariz y exhalamos por la boca suavemente. La respiración debe ser costal, se amplían los pulmones hacia los lados y luego se recogen y se escupe el aire que queda en el bajo vientre, no se deja el aire en él. >> (Contreras, 1980)

Figura 39. <<La Contrología. Respiración. De la respiración correcta depende



el buen rendimiento de los músculos. No puede haber un trabajo muscular satisfactoria sin suficiente oxígeno. Respirar bien disminuye la tensión y facilita el relajamiento... *Es recomendable emplear una respiración que a un tiempo sea costal y abdominal.* Al inhalar, el aire llega a las partes superior, media e inferior de los pulmones, provocando la dilatación del diafragma y del extremo superior del vientre (lo que no está indicado para los estudiantes de danza, quienes por estética deben mantener

plana esta parte de su cuerpo). Al exhalar se contrae el abdomen... La contrología incluye ejercicios consistentes en soplar. Se inhala, se exhala y se sopla, hasta sacar el último residuo de aire de los pulmones, por medio de un impulso que realizamos con el bajo vientre. Se aconseja practicar este ejercicio después de cada seis ejercicios del sistema; de este modo los músculos y la mente descansan y se evita el endurecimiento general del organismo... **Consejos para practicar la contrología...** Las diversas partes del cuerpo se moverán solas y en forma independiente, de modo que las partes restantes se mantengan relajadas. La libertad de los miembros se obtiene mediante la firmeza y el control de la parte central del cuerpo. En otras palabras, la soltura de brazos y piernas se debe a la estabilidad del abdomen y del tórax. *Es frecuente realizar esfuerzos inútiles cuando se hace ejercicio, como el tensar los músculos del cuello y la cara,* lo que desde luego deberá evitarse. *La fuerza para la práctica de la contrología emanará únicamente de la región pélvica, la que abarca el abdomen, el recto, los glúteos y los órganos genitales. Ingrid Audirac >>* (Contreras, 1980) **Observación:** **Contrología** describe detalladamente 48 ejercicios. En todos ellos se indica cual es el ritmo respiratorio. Algunos de los ejercicios coinciden con movimientos de Yoga.

Figura 40. Observación: Los ejercicios Pilates y la Contrología no incluyen técnicas de respiración para la realización de ejercicios aeróbicos como carrera, ciclismo o natación. Las técnicas de las que tratan se refieren únicamente a ejercicios muy particulares como el que vemos en la imagen de la derecha.



Respiración y relajación. <<La respiración es el aspecto fundamental de la relajación. Es bien sabido el papel central que la respiración ocupa en el *yoga* y que toda una rama del *hatha-yoga*, el *pranayama*, tiene por objeto el dominio de una serie de técnicas respiratorias. En tanto que en *Oriente se asigna a la respiración un acento subjetivo y mental*, en Occidente el enfoque es predominantemente médico. Desde este punto de vista, por su especial situación entre los procesos vegetativos y los voluntarios, se puede utilizar la respiración para influir consciente y voluntariamente en procesos que, de suyo, son involuntarios o inconscientes. Puesto que la causa del estrés y de las enfermedades psicosomáticas se encuentra siempre en una alteración forzada del ritmo natural de los procesos vitales, al recuperar la respiración natural se adquiere una vivencia interna de armonización o identificación con la naturaleza que se va extendiendo a continuación a los demás procesos orgánicos.>> (*Enciclopedia Hispánica*, Macropedia, Vol. 12, 1992). Existen numerosas obras dedicadas al Yoga, cada uno con su correspondiente técnica de movimiento y respiración, pero dado su carácter subjetivo y filosófico preferimos no dedicarles más espacio en nuestro estudio.

APLICACIÓN. Un grupo de estudiantes sale a clase de deportes. El profesor inicia la sesión haciendo que todo el grupo diera 10 vueltas corriendo a un campo deportivo. Los alumnos tratan de realizar la carrera sin medir el esfuerzo requerido; las consecuencias, un grupo de muchachos exhaustos, sintiendo en ese momento dolores musculares y la característica falta de aliento, diversas molestias físicas, dándose el caso de una alumna que presentó náuseas. Este suceso llevó a las siguientes preguntas: ¿Acaso no existen técnicas de entrenamiento? ¿Cómo fue posible que el maestro de deportes no explicara como realizar el ejercicio o marcara un ritmo de carrera? ¿No existen técnicas para respirar cuando se corre o se realiza algún ejercicio?

Pregunta: ¿Qué fue lo que sucedió en la sesión de entrenamiento descrita arriba? La práctica de ejercicio físico puede ser muy beneficiosa si este es de tipo aeróbico (resistencia) y se practica con regularidad y método. Los deportes más adecuados para esto son aquellos en los que participan muchos grupos musculares, y en los que no es preciso desarrollar mucha fuerza, como la marcha, el trote, el ciclismo, la natación, o la mayoría de los deportes que se practican en equipo. Para que el trabajo muscular se realice de forma óptima, es conveniente que al comenzar cada sesión de entrenamiento se prepare a los músculos y el sistema cardiorrespiratorio para una actividad intensa mediante: (1) *Ejercicios de estiramiento* cuya finalidad es estirar músculos, tendones y articulaciones para hacerlos más flexibles y prepararlos para que después se puedan contraer con más fuerza y velocidad, o también estirar más; (2) *Calentamiento*; se realizan movimientos o ejercicios a fin de incrementar la temperatura corporal lo que facilita el aumento del metabolismo energético muscular y adapta progresivamente el sistema cardiorrespiratorio para posibilitar un trabajo muscular más intenso. (3) *Relajación o recuperación*; ejercicios y/o una serie de posturas que se realizan al finalizar cada sesión de entrenamiento para evitar las contracturas musculares derivadas del trabajo muscular intenso, así como facilitar la eliminación de los productos de deshecho que produce el trabajo muscular.

Figura 41. Jadeo. En sujetos sanos, la sensación de jadeo o *falta de aliento* que acompaña al ejercicio intenso o prolongado no es provocado por un ingreso insuficiente de aire o por un bajo nivel de intercambio de gases a nivel pulmonar,



sino por las *limitaciones que presenta el aparato cardiovascular para servir una cantidad apropiada de oxígeno a los músculos que intervienen en los movimientos respiratorios*. Cuando los músculos respiratorios perciben un aumento en la concentración de ácido láctico y ácido carbónico en la sangre, envían una señal a los centros nerviosos de la respiración para que se incremente su frecuencia e intensidad de movimiento. Cuando se produce el jadeo o cuando aparece la sensación de fatiga muscular, el aparato respiratorio todavía no ha explotado al máximo sus capacidades, esto sucede tanto en los deportistas como en las personas sedentarias. La práctica de ejercicios físicos de resistencia mejora el rendimiento del aparato cardiovascular e incrementa el del aparato respiratorio, entrenándolo para

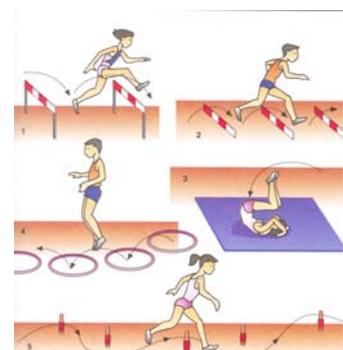
facilitar un intercambio adecuado de gases, tanto en reposo como en el transcurso de las actividades físicas.

Podemos decir que lo que hizo el entrenador escolar fue un trabajo mal planificado, sin método y desconociendo principios básicos de la práctica del ejercicio. Al mandar a los estudiantes a realizar la carrera, sometió aun grupo no entrenado a una prueba de potencia aeróbica sin supervisión.

Figura 42. Respiración, ejercicio y niños. Al realizar este estudio se encontraron en la Biblioteca Central de la UNAM y en la Biblioteca Pública "Gral. Vicente Guerrero" publicaciones dirigidos a la enseñanza de la práctica de actividades deportivas para niños (Edom, H., Katrak, N., Meredith; García Manso, J. M., Navarro Valdivielso, R., Ruiz Caballero, J. A.; Guimarares Rodríguez, T; Brito Soto, L. F.; Blázquez Sánchez, D).



Los diferentes autores tienen por objetivos plantear estrategias pedagógicas que permitan que los niños desarrollen habilidades motrices, habilidades de coordinación, habilidades de estabilidad, así como la planeación de actividades que permitan mejorar la fuerza y la resistencia convivencia con sus compañeros, valores éticos y otros.



Encontramos que estos textos no dan indicaciones sobre técnicas respiratorias para niños; al parecer ellos respirarían de la manera que les sea natural, lo que estaría en concordancia con lo señalado por McArdle, Katch y Katch, (1986).

DISCUSIÓN, RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

Proponemos la siguiente clasificación de los músculos respiratorios tomando como base lo que encontramos al respecto en los textos de Fisiología; Ganong (1998 y 2001); McArdle, Katch, y Katch (1990); McGowan, Jefferies, Turley y Elsevier (2004): En el proceso de respiración externa, en reposo o realizando ejercicio ligero, se considera que los músculos respiratorios son:

- Inspiración en reposo: diafragma, intercostales externos y transverso del tórax.
 - Espiración en reposo: diafragma (retroceso pasivo) e intercostales internos.
- Al realizar ejercicio se dice que se realiza respiración forzada que se subdivide en

- Inspiración forzada: diafragma, intercostales externo, transverso del tórax, escalenos y esternocleidomastoideo.
 - Espiración forzada: diafragma, intercostales internos y músculos abdominales.
- De aquí que se considere que el diafragma es el principal músculo respiratorio. Sin embargo, si se realizan ejercicios que utilicen la técnica de Pilates o la de Contrología, de acuerdo con Contreras (1997), Thorley (2002) y Kuhnert (2002), la respiración se realiza manteniendo llano el abdomen por lo que el diafragma deja de ser el principal músculo respiratorio.

La maniobra de Valsalva involucra a los músculos de la laringe, a la glotis y al *periné*^{8,9} para mantener el sistema respiratorio cerrado durante la realización de un esfuerzo intenso –levantar o mover una carga – La maniobra de Valsalva permite que todo el cuerpo se comporte como un *neumático* y evita que el cuerpo se colapse durante la realización de un esfuerzo de alta intensidad y corta duración. Es decir, esta maniobra confiere al cuerpo las propiedades de un **amortiguador**. Sin embargo su empleo está condicionado a intervalos de tiempos muy breves, el que tome elevar o sostener una carga o recorrer una distancia así como por un buen estado del aparato circulatorio, esto debido a que el cuerpo queda sometido a un aumento enorme de la presión intratorácica.

⁸ Periné o perineo; se llama así a la región del cuerpo de forma romboidal que se encuentra entre el ano y los genitales. Ocupa la salida pélvica y constituye el suelo de la pelvis.

⁹ Cuando estudiamos la maniobra de Valsalva se propuso un modelo del cuerpo empleando una botella de plástico cuyo tapón simula la acción de la glotis. Este modelo no toma en cuenta que el cuerpo humano tiene dos conductos que comunican el interior con el exterior, los que serían, uno el formado por boca y nariz en la cabeza y el segundo el periné en la parte inferior de la pelvis.

Figura 43. Al espirar los pulmones nunca quedan completamente vacíos de aire



ya que si se desinflaran por completo se requeriría una cantidad mucho mayor de energía para volver a inflarlos lo que también haría que el trabajo respiratorio aumentara. Si esto ocurriera durante la realización de ejercicio ¡No habría provisión de alimento capaz de satisfacer las

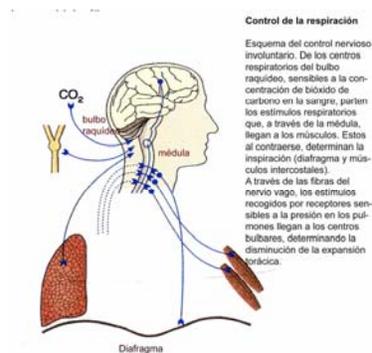
demandas energéticas, ni estómago capaz de contenerlos! Cuando en la técnica de Controlología se dice que “vacíe por completo los pulmones” más bien se trata de hacer que el practicante utilice su imaginación y haga a que los músculos intercostales internos y las costillas se muevan activamente durante la espiración.

La acción respiratoria espontánea puede ser modificada a voluntad, lo cual posibilita la práctica de diferentes técnicas respiratorias. Sin embargo dichas modificaciones tienen limitaciones físicas y fisiológicas. Así, se considera dudoso poder cambiar los volúmenes estáticos pulmonares de manera significativa mediante el entrenamiento. Si una persona busca aumentar su volumen torácico entrenando debería trabajar sobre los músculos del torso; pectorales, dorsales, trapecio y deltoides.

Las figuras 24 y 25 (página 17) muestran un esquema del comportamiento general del cuerpo humano durante la realización de ejercicio aeróbico. Sin embargo se debe tener presente lo que señalan MaArdle, Katch y Katch, (1986) <<Las tentativas conscientes para modificar la respiración durante actividades físicas globales tales como la carrera normalmente están destinadas a fracasar y probablemente no son beneficiosas en términos del rendimiento... En reposo como en el ejercicio cada individuo debería respirar de la manera que le parezca la más natural. >> y que no encontramos ninguna prueba de lo contrario.

Figura 43. Se revisó cómo se efectúa el control de la respiración encontrando lo siguiente: << La *respiración espontánea* es producida por la descarga rítmica de *neuronas motoras* que inervan a los músculos respiratorios. Esta descarga es totalmente dependiente de impulsos nerviosos procedentes del encéfalo... y son reguladas por las concentraciones arteriales de PO_2 , PCO_2 y H^+ y se completa por influencias no químicas... Hay dos sitios del sistema nervioso que regulan la respiración. Uno tiene a su cargo el *control voluntario*, se localiza en la *corteza cerebral* y envía impulsos a las *neuronas motoras respiratorias* a través de las *vías corticoespinales*...

El otro, el *control automático*, está situado en la *protuberancia anular* en el *bulbo raquídeo* y el impulso eferente de este sistema hacia las neuronas motoras respiratorias se ubica en la *sustancia blanca de la médula espinal*... El aumento en la PCO_2 o en la concentración de H^+ de la sangre arterial, o un descenso en su PO_2 , incrementa el nivel de actividad de las neuronas respiratorias bulbares y los cambios en la dirección opuesta tienen un efecto ligeramente. Los efectos de las variaciones de la *química sanguínea* en la ventilación son mediados a través de *quimiorreceptores respiratorios*, o sea, los *cuerpos carotídeo y aórtico* y las colecciones de *células bulbares*, y en otras partes, que son sensibles a cambios en la química sanguínea e inician impulsos que estimulan al centro respiratorio. >> (adaptado de Ganong, 1998). Entonces, es probable que el control automático del sistema nervioso, que responde a la



química sanguínea, sea quien no permita realizar dichas modificaciones conscientes de la respiración al realizar ejercicio.

Una respiración más profunda –mayor volumen corriente- propicia una *ventilación alveolar más efectiva* que una ventilación por minuto similar lograda sólo mediante un aumento del número de respiraciones por minuto –frecuencia respiratoria-. Es probable que sea debido a esto que la técnica de respiración de Pilates aumente la fuerza y elasticidad muscular sin agregar masa corporal.

Los ejercicios anaeróbicos solo pueden mantenerse por 2 minutos porque la glucólisis anaeróbica genera *ácido láctico* que al acumularse provoca dolor en los músculos que impide continuar en movimiento.

El metabolismo aeróbico ofrece más moléculas de trifosfato de adenosina (ATP) pero tiene el límite que le impone la cantidad máxima de oxígeno que puede aportarse mediante las capacidades máximas del sistema cardiorrespiratorio. Debido a esto, es posible realizar actividades físicas ligeras o moderadas durante períodos de tiempo muy prolongados pero, a su vez, no permite ejecutar esfuerzos físicos muy intensos. El metabolismo aeróbico tiene un límite; cuando las reservas energéticas se agotan el cuerpo experimenta *cansancio muscular* que impone *reposo*.

Todas las personas poseen la capacidad para utilizar metabolismo anaeróbico y aeróbico, pero la forma de transferencia de energía varía considerablemente de individuo a individuo, lo que fundamenta el concepto de *diferencias individuales en la capacidad metabólica para realizar ejercicio*. Además, la capacidad de una persona para la transferencia energética no es un factor general, sino que depende de la forma en que se entrena y se evalúa. Términos como “velocidad”, “potencia” y “resistencia” deben definirse cuidadosamente dentro del contexto de los patrones de movimiento específico y de las necesidades específicas metabólicas y fisiológicas de una actividad.

Para realizar pruebas de potencia aeróbica y la medición del consumo máximo de oxígeno se requieren un laboratorio y equipo especializados y sujetos entrenados bajo fuerte motivación. Estas pruebas no son adecuadas para medir y valorar el acondicionamiento físico de grandes grupos de personas no entrenadas ya que durante la realización de dichas pruebas se debe realizar ejercicio sumamente vigoroso, por lo que deben realizarse bajo supervisión médica.

Podemos afirmar que lo que hizo el entrenador escolar fue un trabajo mal planificado, sin método y desconociendo principios básicos de la práctica del ejercicio. Al mandar a los estudiantes a realizar la carrera, sometió a un grupo no entrenado a una prueba de potencia aeróbica sin la supervisión médica.

Es la respiración la que se adapta al ritmo y la forma de los ejercicios. **NO CONVIENE** tratar de hacer que sean el ritmo y la forma de los ejercicios los que se adapten a la respiración. Dicho de otro modo, lo más adecuado cuando se realiza ejercicio físico, es respirar de manera natural sin aguantar el aire. Cuando la realización de los movimientos de un ejercicio queda claro, instintivamente, se estará respirando “correctamente”. *Un ejercicio siempre tiene un ritmo y una*

respiración acorde a éste. Esto en concordancia con: McArdle, Katch y Katch (1990); Ganong (1998 y 2001), Battista (1969), Kuhnert (2002), Contreras (1997), y Thorley (2002).

La técnica Pilates no es charlatanería; ésta y Controlología hacen que abdomen, pelvis y tórax se unan al realizar la respiración. Mantener el abdomen plano y respirar lateralmente permite realizar con mayor eficiencia movimientos como rotaciones de extremidades, saltos y otros pero estas técnicas no se aplican a la realización de ejercicios aeróbicos –trote, carrera, ciclismo, natación, patinaje- aunque pudieran aplicarse a la realización de ejercicios isométricos (gimnasio de pesas) o que guarden alguna semejanza con la danza como serían gimnasia y clavados.

CONCLUSIONES

El sistema respiratorio, tanto en reposo como realizando movimiento, está gobernado principalmente por la ley de Boyle, $P_1V_1 = P_2V_2$.

Tanto en reposo como realizando actividades físicas tenemos que:

ventilación por minuto = frecuencia respiratoria x volumen corriente.

La maniobra de Valsalva transfiere al cuerpo las propiedades de un neumático como consecuencia del Principio de Pascal.

Volúmenes pulmonares mayores de lo “normal” y capacidades respiratorias de algunos atletas se pueden atribuir, en general, a **diferencias genéticas** de cada individuo además el mejoramiento del sistema respiratorios se debe al entrenamiento mediante ejercicio.

Los volúmenes estáticos no se pueden modificar. Los volúmenes dinámicos se ajustan a la intensidad o demanda de la actividad que se realice pero encontramos que tienen las siguientes limitaciones: (a) **dimensiones de la caja torácica**, (b) **elasticidad de los músculos respiratorios**, (c) **distensibilidad de la pared torácica**, (d) **edad**, (e) **sexo**, (f) **genética individual**, incluyendo raza, (g) **estatura** y (h) **somatotipo**. El ejercicio físico hace que aumenten el trabajo respiratorio y el costo metabólico. En reposo y ejercicio ligero la razón de *perfusión:ventilación* es aproximadamente: $4.2/5.0 = 0.8$. En el ejercicio intenso aumenta; se encontró que en sujetos sanos la razón de *perfusión:ventilación* puede ser mayor que 5.0 lo que asegura una aireación adecuada de la sangre que vuelve en la circulación venosa.

Es probable que el control automático del sistema nervioso, que responde a la química sanguínea, sea quien no permita realizar modificaciones conscientes de la respiración al realizar ejercicio.

El sistema nervioso continuamente recibe señales del sistema respiratorio y responde a ellas aumentando tanto la frecuencia respiratoria como el volumen corriente pero lo hace de tal manera que se mantenga una provisión adecuada de oxígeno y se mantenga baja la concentración de dióxido de carbono. Los valores que puede alcanzar la ventilación por minuto varían en función tanto de las **actividades** que se realicen como de la **constitución corporal** de cada persona.

Si se intenta aumentar la ventilación por minuto aumentando la frecuencia respiratoria se puede producir *hiperventilación*, lo que ocasiona molestias como delirio, sensación de hormigueo en manos y pies, espasmos musculares y tetania.

Al realizar ejercicio aumenta la velocidad del flujo aéreo lo que induce turbulencia y provoca que aumente la resistencia de las vías respiratorias. Para reducir la resistencia de la vía respiratoria se respira por la boca.

Observación General: *No se debe retener* (Retener la respiración = aguantar el aire = realizar ejercicio en apnea) *la respiración durante la realización de ejercicio*¹⁰. En esto concuerdan McArdle, Katch y Katch (1990); Ganong (1998 y 2001), Battista (1969), Kuhnert (2002), Contreras (1997) y Thorley (2002).

¹⁰ *Excepto que se trate de una prueba de competición, para la que se entrena específicamente, como son las pruebas de 50 m de nado con aletas o la inmersión libre profunda.*

El trabajo respiratorio para inflar los pulmones y el costo metabólico pueden aumentar si: (i) Los pulmones se inflan hasta un volumen mayor; (ii) la distensibilidad pulmonar disminuye; (iii) la resistencia de las vías respiratorias aumenta. (iv) Aparece flujo turbulento en las vías respiratorias. Es inmediato que el ejercicio físico hace que aumenten el trabajo respiratorio y el costo metabólico.

El *jadeo* experimentado al realizar ejercicio intenso o prolongado no es provocado por ingreso insuficiente de aire ni tampoco por un bajo nivel de intercambio de gases a nivel pulmonar. Lo que ocasiona el jadeo son las limitaciones que presenta el aparato cardiovascular para servir una cantidad apropiada de oxígeno a los músculos que intervienen en los movimientos respiratorios.

La práctica de ejercicios físicos de resistencia mejora el **rendimiento** del aparato cardiovascular e incrementa el [rendimiento] del aparato respiratorio, entrenándolo para facilitar un intercambio adecuado de gases, tanto en reposo como en el transcurso de las actividades físicas.

Observación General: Es posible obtener una respiración mejor en **calidad**, no en cantidad.



BIBLIOGRAFÍA

Atlas Ilustrado de Anatomía, Rigutti, A. Susaeta Ediciones, 2004.

Aprende Ballet, Edom, H., Katrak, N., Meredith, S. Usborne Publishing Ltd, 2003.

Bases Teóricas del Entrenamiento Deportivo (Principios y Aplicaciones), García Manso, J. M., Navarro Valdivielso, R., Ruiz Caballero, J. A. Gymnos Editorial, 1996.

Contrología. Un sistema completo de ejercicios para hombres y mujeres, Contreras, G. UNAM, 1997.

Culturismo, Schwarzenegger, A., Dobbins, B. Ediciones Roca, S. A., 1989.

Educación Física Básica, Guimarares Rodríguez, T. Cooperativa Editorial Magisterio, 2000.

Educación Física y Recreación, Brito Soto, L. F. EDAMEX, 1997.

Ejercicio Físico, Col. Familia y Salud. Galilea Muñoz, J. Editorial Futuro Lector, 1993.

Enciclopedia de las Ciencias Naturales, Vol. 11. El Hombre, Ediciones NAUTA, 1987.

Enciclopedia de los Deportes, Dauven, J. Siglo XXI Editores, 1968.

Enciclopedia Hispánica, Macropedia, Vol. 12, pág. 284, Encyclopaedia Britannica Publishers, Inc., 1992.

Enciclopedia Mundial del Deporte, Wirz, D., Margot, O. UTEHA, 1982.

Física, Conceptos y Aplicaciones, Tippens, P. A. McGraw-Hill, 1988.

Física para las Ciencias de la Vida, Cromer, A. H. Editorial Reverté, 1978.

Física Universitaria, Vol. 1, Francis W. Sears, Mark W Zemansky, Hugh D. Young, Roger A. Freedman, Pearson Educación de México, 2004.

Fisiología del Ejercicio, Energía, Nutrición y Rendimiento Humano, McArdle, W. D., Katch, F. I. Katch, V. L. Alianza Editorial, Consejo Superior de Deportes, 1990.

Fisiología Médica, Ganong, W.F. Editorial El Manual Moderno, 1998 y 2001.

Fisiología Respiratoria, West, J. B. Editorial Médica Panamericana, 2002.

Forma Atlético, Deporte y Musculación, Battista, F. Editorial Hispano Europea, 1969.

Guía del Método Pilates, Thorley, L. PARRAGÓN, 2002.

La Educación Física, Blázquez Sánchez, D. INDE Publicaciones, 2001.

La Velocidad. La mejora del rendimiento en los deportes de velocidad, García Manso, J.M., Martín Acero, R, Navarro Valdivielso, R y Ruiz Caballero, J. A. Gymnos Editorial, 1998.

Lo Esencial en Aparato Respiratorio, McGowan, P. Jefferies, A. Turley, A. Elsevier, 2004.

Manual de Educación Física y Deportes, Técnicas y Actividades Prácticas. Gatón, O. Gatica, P., Gerona, T. et. al. Editorial OCEANO, 2002.

Mi cuerpo: un libro de ciencia para niños, Cañedo, L. Editorial Equipo Sirius, 1992.

Mosby's Handbook of Anatomy & Physiology, Patton, K. T., Thibodeau, G. A. Mosby, 2000.

Principios de Anatomía y Fisiología, Tortora, G. J., Reynolds Grabowsky, S. Mosby/Doyman Libros, 1996.

Supercuerpo con Pilates, Kuhnert, C., Edimat Libros, 2002.

Taber's Diccionario Médico Enciclopédico, Editado por Clayton L. Thomas, Editorial El Manual Moderno, 1997.