



Revista Cubana de Medicina del Deporte v5n1 Enero-Abril 2010

ARTÍCULOS ORIGINALES

**Pruebas de esfuerzo: algunas consideraciones teóricas.
Experiencias en su aplicación**

**Effort tests: some theoretical considerations.
Experiences in its application**

Primera parte

Pilar Castellanos Delgado¹

Adán Sánchez Martínez² adansanchez@infomed.sld.cu

¹ Especialista de segundo grado en medicina del deporte e investigadora auxiliar

² Especialista de segundo grado en medicina del deporte, profesor auxiliar e investigador agregado

RESUMEN

Se plantea una panorámica general de los diferentes aspectos de la Medicina Deportiva. Sobre la función respiratoria y las modificaciones de esta, producidas por el ejercicio. Se describen las técnicas para la realización y medición de dicha prueba

Palabras Claves: función respiratoria, ejercicio, medición, técnicas

ABSTRACT

A general panoramic of different aspects of Sports medicine is bringing out, about respiratory function and its modifications, produced by exercising. Techniques for the fulfilments and measurement of this test are described.

Keywords: respiratory function, exercising, measurement, techniques

INTRODUCCIÓN

La Medicina deportiva es tan vieja como la medicina misma en 1883 Speck (médico alemán) desarrolló el primer ergómetro, ese año quizás, se recuerde como el año del nacimiento de la medicina deportiva basada en mediciones físicas.

Al final de siglo XIX el fisiólogo Zuntz expandió esos incipientes conocimientos con el desarrollo del primer Tread mill con motor.

El término medicina deportiva no abarca en su totalidad lo que corresponde a esta especialidad en nuestros días. La primera definición fue hecha en 1958 con motivo de la fundación del Instituto de Cardiología y Medicina Deportiva en Colonia: "la medicina deportiva incluye esas ramas teóricas y prácticas de la medicina que investiga la influencia del ejercicio, entrenamiento, y deporte en personas saludables y enfermas, así como los efectos de la disminución de ejercicios para la prevención, terapia y rehabilitación". Esta definición fue adoptada por la FIMS en 1977.

Los principales aspectos de la medicina deportiva pueden resumirse así:

Tratamiento de lesiones y enfermedades

1. Exámenes previos que puedan contraindicar la práctica deportiva
2. Investigaciones médicas para conocer las posibilidades cardíacas, respiratorias, metabólicas y de la musculatura esquelética.
3. Diagnóstico específico de determinados deportes
4. Prevenciones médicas, nutricionales y de estilo de vida
5. Ayuda en el desarrollo óptimo de los métodos de entrenamiento.
6. Bases científicas para el control del entrenamiento.
7. Promoción de salud
8. Doping

De estos aspectos nos ocuparemos en el presente trabajo del 3 limitándonos a las posibilidades respiratorias, del 6 y del 7. La mejor utilización de este material será por parte de los residentes y maestrantes de esta especialidad, así como de

todos los que se inician en este campo, lo que constituye el principal objetivo.

En su contenido no sólo se reflejan las opiniones de los diferentes autores consultados sino también la experiencia de más de 30 años del personal del Laboratorio de Pruebas Funcionales.

Fundamentos de la fisiología pulmonar. Efectos del ejercicio físico.

a: Bases anatómicas

b: Ventilación pulmonar en reposo y en el ejercicio

c: Definición de VO_2 y VCO_2

d: Transporte

e: Cociente de intercambio respiratorio.

f: Regulación de la respiración durante el ejercicio.

La respiración incluye dos procesos: La respiración externa, que es la absorción de O_2 y remoción de CO_2 del organismo como un todo y .La respiración interna, representada por el intercambio gaseoso entre las células y su medio líquido. En reposo un hombre normal respira de 12 a 16 veces por min. En cada respiración se movilizan aproximadamente 500 ml de aire o sea de 6 a 8 litros por min., son inspirados y espirados. Este aire se mezcla con el gas de los alvéolos y , por simple difusión el O_2 entra a la sangre de los capilares pulmonares, mientras el CO_2 pasa a los alvéolos.

De esta manera 250 ml de O₂ por min entran al cuerpo y 200 ml de CO₂ son excretados.

La mecánica de la respiración externa tiene un fin: que el alvéolo reciba un aporte suficiente de aire fresco (20.94% de O₂, 0.04 % CO₂, 78.1% N₂ y 0.92 % de otros constituyentes fisiológicamente inertes como el argón y el helio). Este hecho constituye la ventilación pulmonar, que se expresa en unidades volumétricas en función de tiempo.

El proceso de la respiración puede dividirse en cuatro etapas funcionales principales:

1. Ventilación pulmonar. Movimientos activos de los músculos torácicos y del diafragma y gracias a estos movimientos el aire alveolar es renovado continuamente. Dentro de esta función deben estudiarse las presiones y resistencias que entran en juego y que componen la mecánica ventilatoria, la importancia de los volúmenes de aire desplazados, su distribución a lo largo del árbol respiratorio y la eficiencia de esta ventilación.

2. Ventilación durante el ejercicio: La ventilación se modifica antes, durante y después del ejercicio. El ligero aumento de ventilación antes de que comience el ejercicio recibe el nombre de ascenso anticipatorio, pues representa un resultado de la preparación para la actividad que va a desarrollarse. Cuando comienza la actividad se produce un gran aumento inmediato de la ventilación. La rapidez de este ascenso indujo a los investigadores a creer que se trataba del resultado de influencias nerviosas generadas por receptores situados en los músculos y en las articulaciones que trabajan.

Después de varios minutos de ejercicio submáximo la respiración continúa elevándose, pero a una tasa mucho menor, nivelándose por último hasta el fin del ejercicio. Si

este es máximo la ventilación continua ascendiendo con lentitud hasta el agotamiento. Después de la terminación del ejercicio la ventilación vuelve a los valores de reposo con rapidez en los primeros minutos y luego en forma mas lenta, por supuesto esto varía de forma individual y de acuerdo a las intensidades de ejercicio aplicadas (27)

3. Ventilación como límite del rendimiento. Existe un acuerdo general en el sentido de que la ventilación pulmonar no limita el rendimiento físico en los individuos sanos. Este aumento fuera de proporción con cargas de trabajo de moderadas a pesadas, significa que la ventilación a esas cargas es mayor que la requerida para la cantidad de O₂ que se consume. Este fenómeno recibe el nombre de hiperventilación. Su causa en estas condiciones esta vinculada a los grandes aumentos de CO₂ y ácido láctico que acompañan a un ejercicio intenso.

En estudios realizados en caballos, se observó una limitación del flujo espiratorio, durante una carrera debida a un cierre de las vías aéreas dinámicas. Esto fue determinado en un tread mill. Esa disminución del pico espiratorio se comparó con lo que sucedía con el mismo animal realizando una maniobra de flujo espiratorio forzado, y se encontró que el límite hipoventilatorio no parece ser mecánico, sino que se debe a un incremento de la potencialidad del flujo espiratorio de reserva que ellos poseen (12)

Procesos que se relacionan con la respiración

1. Los cambios físicos y químicos por la reacción de neuronas especializadas que regulan la espiración.
2. La influencia de la actividad muscular en el tórax que produce alteraciones de la presión intrapulmonar.

3. El efecto de los cambios de presión que originan los movimientos del aire entre los pulmones y la atmósfera.
4. El efecto del metabolismo y la ventilación pulmonar en la composición de los gases pulmonares.
5. El intercambio de gases entre la sangre y los pulmones
6. Las características del transporte de O_2 y CO_2 entre pulmones y tejidos.
7. El efecto de la secuencia completa de los eventos en el medio celular y por supuesto en la actividad de las neuronas quimio-sensitivas en la regulación de respiración.
8. El incremento del tono simpático debido al ejercicio origina una relajación de la musculatura bronquial, lo cual disminuye la resistencia respiratoria.

Características de la función respiratoria

1. a resistencia elástica pulmonar aumenta, cuando aumenta la profundidad respiratoria.

La medida de la profundidad pulmonar es la "compliance" y esta depende de la propiedad del tejido pulmonar y la cantidad del volumen pulmonar, mientras mas pequeño es el volumen respiratorio menor será la "compliance"

2. En reposo el gasto de VO_2 , por respiración es de 0,5 a 1,0 ml /L de ventilación, en el ejercicio intenso se incrementa notablemente y alcanza cifras de 10 a 12 % del VO_2 del total.
3. La resistencia al aire en la respiración nasal es 2 o 3 veces mayor que la respiración bucal.

4. En caso de trabajo sub-máximo de intensidad constante, con el uso de grandes grupos musculares, el volumen espirado (VE) alcanza un estado estable después de 3-6, en un ejercicio intenso. El VE incrementa en proporción con el VO_2 . El paso de incremento exponencial del VE asociado a la etapa a la etapa del "poder " de incremento del VO_2 es llamado "punto de respiración efectiva" (Hollman 1961) o UMAN

Modificaciones respiratorias

De una respiración de 6 L/min. en reposo se pasa a más de 120 L/min. en un ejercicio intenso, es gracias a esta mayor ventilación y al aumento del volumen minuto cardíaco que se consigue elevar la provisión de O_2 , por tanto, existe en realidad cierta relación entre ventilación pulmonar y trabajo realizado por minuto, y entre ventilación pulmonar y VO_2 , esta relación se denomina Coeficiente Ventilatorio y es alrededor de 20 en reposo y superior en la actividad física intensa.

El mecanismo de este ajuste tan perfecto entre ventilación pulmonar y consumo de O_2 es uno de los problemas más interesantes de la fisiología respiratoria y a pesar de las numerosas investigaciones destinadas a aclararlo, no está aún resuelto.

Las modificaciones químicas experimentadas por la sangre durante el ejercicio podrán explicar la hiperpnea concomitante. El aumento en la tensión del CO_2 y la disminución del pH sanguíneo actuarían entonces estimulando el centro respiratorio bulbar o los quimiorreceptores periféricos (Heymans 1947)

En cuanto al pH de la sangre, se ha encontrado que mantiene cierta relación con la ventilación pulmonar. Esta relación no

siempre es simple por lo que Gessell considera que los cambios de pH del centro respiratorio se constituyen en el factor principal en la regulación respiratoria, no obstante, en el trabajo moderado no se modifica el pH sanguíneo ni disminuye la tensión de O₂ en la sangre arterial.

Para algunos autores, el mecanismo principal del incremento ventilatorio durante el ejercicio sería un aumento en la sensibilidad del centro respiratorio. En favor de esta interpretación está el efecto que sobre la ventilación tiene la adición de un 3% de CO₂ al aire inspirado en un sujeto haciendo ejercicio, efecto mucho mayor que cuando se haya en reposo (Dripps).

Investigaciones posteriores parecen demostrar la génesis nerviosa de este aumento en la sensibilidad del centro respiratorio. Así se ha comprobado que los impulsos procedentes de los músculos en actividad de las articulaciones (Asmussen, Comroe) de los pulmones y de la corteza cerebral pueden modificar, en ciertas condiciones, la actividad del centro respiratorio o su sensibilidad a los excitantes fisiológicos, la misma acción tendrían los impulsos provenientes de los corpúsculos carotideo y aortico y de los senos homónimos de las grandes venas y de las aurículas.

Lo más posible es que tanto los factores nerviosos como los humorales actúen en el mecanismo causal de la hiperpnea, sin embargo, falta aun saber en que grado y jerarquía participa cada uno de los numerosos factores enumerados (Comroe).

PRUEBAS FUNCIONALES DE REPOSO

Espiograma

El espiógrafo no es más que un respirador de circuito cerrado, a través del cual el aire (o el O_2 etc.) circula siempre en una misma dirección gracias a un sistema de válvulas o a una bomba eléctrica que lo impulsa. Intercalado en el circuito hay un depósito con un absorbente de CO_2 (generalmente cal sodada) cuyo objetivo es neutralizar el que el paciente elimina en cada espiración, y una campana de material muy ligero, de varios litros de capacidad, flotando en un depósito de agua y conectada a una aguja inscriptora que se desplaza sobre un quimógrafo dotado de varias velocidades (por lo menos dos: una lenta 60 revoluciones por minuto y otra rápida 1200 revoluciones por minuto). A cada espiración del paciente, que se habrá conectado al sistema mediante una boquilla y previa oclusión de las fosas nasales con una pinza adecuada, aumentará el volumen de aire de la campana y esta ascenderá un poco sobre el nivel del agua, teniendo su traducción en la correspondiente deflexión en la gráfica.

A cada inspiración tiene lugar el fenómeno inverso. El grado de desplazamiento de la campana y por tanto de la pluma inscriptora será proporcional al volumen de gas movilizado por el sujeto lo que permitirá fácilmente transformar para el cálculo, magnitudes verticales de la gráfica en volúmenes de gas movilizado, utilizando para ello lo que se llama "constante del equipo" o fracción de litro a que equivale un milímetro de desplazamiento vertical de la campana. Esta constante viene dada por el constructor del aparato.

Variables a estudiar

Serán los volúmenes y capacidades pulmonares. Existen cuatro volúmenes pulmonares:

1. Volumen de ventilación pulmonar o aire corriente (AC), es el movilizado por el sujeto en reposo y en un movimiento respiratorio o sea el comprendido entre el comienzo y el final de una inspiración normal. Como ocurre con la mayoría de los valores que se señalaran a continuación, es imposible hablar de cifras "normales" puesto que varían según la edad, el sexo y la talla (o superficie corporal) del individuo. Las cifras que se ofrecen son de orientación. En el caso del aire corriente será de 500 a 600 ml en el adulto joven promedio.

2. Volumen de reserva inspiratoria (VRI) es el comprendido entre el final de una espiración normal y una inspiración máxima, o sea el volumen de aire adicional que puede inspirarse por encima del AC, generalmente equivale a unos 3000 ml.

3. Volumen de reserva espiratoria VRE es el comprendido entre el final de una espiración máxima lo que es igual al volumen de aire adicional que puede expulsarse realizando una espiración forzada al final de una espiración normal y equivale generalmente a 1100 ml

4. Volumen residual (VR) es el que permanece aun en los pulmones tras una espiración normal. Es aproximadamente 1200 ml normalmente, en una persona joven no debe rebasar el 25% de la capacidad total pulmonar. En los atletas generalmente es menor.

Capacidades

Al describir las etapas del ciclo pulmonar es en ocasiones deseable tomar en cuenta juntos dos o más tipos de volumen pulmonar. Estas agrupaciones se denominan capacidades y son:

1- Capacidad inspiratoria equivale al volumen de ventilación pulmonar más el volumen de reserva inspiratoria. Se trata de la cantidad de aire (unos 3000 ml) que puede respirar una persona comenzando desde el nivel de espiración normal y distendiendo sus pulmones hasta su capacidad máxima
($CI = AC + VRI$)

2- Capacidad funcional residual supone el volumen de reserva espiratoria más el volumen residual. Es la cantidad de aire que queda en los pulmones al final de una espiración normal aproximadamente 2300 ml ($CFR = VRE + VR$). Esta capacidad se puede determinar por técnicas especiales (Helio, etc)

3- Capacidad Vital es la suma del volumen de reserva inspiratoria, el volumen de ventilación pulmonar o aire corriente y el volumen de reserva espiratoria. Es la máxima cantidad de aire que una persona puede expulsar de sus pulmones después de haberlos llenado al máximo, unos 4600ml ($CV = VRI + AC + VRE$)

4- Capacidad pulmonar total, es el volumen máximo al que pueden dilatarse los pulmones con el mayor esfuerzo inspiratorio posible, aproximadamente 5800ml ($CPT = CV + VR$). En las mujeres todos los volúmenes y capacidades pulmonares son aproximadamente un 25% menores que la de los varones, también estas cifras son superiores en sujetos de gran talla y atléticos que en personas astenicas y pequeñas. También en un espirograma pueden determinarse la

frecuencia respiratoria, el volumen minuto, el VO_2 de reposo, el volumen espiratorio forzado y el volumen máximo del flujo medio espiratorio.

La frecuencia respiratoria es sencillamente contar el número de veces que se respira en un minuto.

El volumen minuto se determinara multiplicando la FR por el AC y se ofrece en litros por minuto, su valor oscila entre 6 a 10 litros por minuto en reposo.

El VO_2 de reposo se determinara observando el ángulo que se forma desde un punto de la gráfica hasta llegar a un minuto, el seno de dicho ángulo corresponderá al VO_2 de reposo y que será alrededor de 200 a 400 ml.

El Volumen espiratorio forzado es similar a la ventilación máxima por minuto o vol. minuto máximo, este se determina multiplicando la frecuencia máxima en un minuto por la ventilación máxima de dicho minuto, esta medición en reposo es molesta para el sujeto y puede obtenerse, haciendo este calculo pero solo en 15 seg.

A pesar de todo no es ampliamente aceptada por los sujetos a estudiar y se prefiere reemplazarla por el Volumen espiratorio forzado en el primer s o en 0.75 s, que es la que preferimos en nuestro trabajo. Desde que se relaciona un volumen con una unidad de tiempo debe considerarse como una ventilación y de hecho así lo es. Corresponde al volumen expulsado, durante el primer s o 0.75 s de una espiración, lo mas rápida y forzada posible subsiguiente a una inspiración máxima. Para poder calcularlo con exactitud debe registrarse a gran velocidad (1200 rev por min.). Es quizás el dato mas importante a retener en todo espirograma y el que encierra en esencia, el verdadero estado de la función ventilatoria. Debe corresponder aproximadamente a un 80% de la capacidad vital en el caso de un segundo y al 70% en los 0.75

seg. Como vemos existe una estrecha relación entre VEF y VMM ya que el aire espirado durante la determinación del VEF se multiplica por 40, que equivale al mayor número de respiraciones útiles en un minuto. Los valores se expresan en litros por minuto.

Volumen Máximo del Flujo Medio Espiratorio. (VMFME).

Si la determinación del VEF es algo muy importante, no lo es menos la del VMFME ya que al igual que dicho volumen ambos expresan funciones intrapulmonares y en el caso del VMFME es puramente intrapulmonar, esto se explica por la forma en que se realiza la medición. Se localiza en la gráfica la capacidad vital, esta se divide en 4 partes iguales, se toman los 2/4 centrales, se proyectan en la curva espiratoria y se determina el tiempo que emplea el sujeto para expulsar esa cantidad. Los valores se expresan en L por seg., se desechan los cuartos inferiores y superiores por estar influidos por factores extrapulmonares.

En la fisiología respiratoria se trabaja con mezcla de gases y cada uno inferior contribuye a la presión total en proporción directa a su concentración relativa, por ejemplo: El aire atmosférico tiene una presión total de 760 mm de mercurio. Dichos gases están también bajo leyes físicas que posibilitan la mayor o menor difusión, así como, modificaciones de sus volúmenes por efecto de la temperatura.

Para estabilizar los valores que se estudian en el espirograma existen factores de corrección que no pueden excluirse en la valoración de estas pruebas. De estos factores los más utilizados son el BTPS (Body temperature pressure saturated) que se utiliza cuando se trata de aire atmosférico llevado a la temperatura de 37 grados Celsius. En los casos de gases como O₂ y CO₂ se utiliza el STPD (Standard temperature pressure dry) Aire seco, 0% de humedad, 0 grados Celsius o

sea , que al elaborar los resultados del espirograma, todas las variables en las que interviene aire atmosférico, como por ej. AC, CV, VEF, VMFME se corrigen con BTPS y consumo de O₂ y CO₂ con STPD.

Los resultados obtenidos del sujeto serán los valores "reales", luego dependiendo de sexo, edad y talla, se buscaran en las tablas al efecto los valores "ideales", se compararan ambos valores y el % del valor real sobre el ideal, deberá estar, para considerarse normal, por encima del 70%, cifras inferiores deben ser valorados como "insuficiencias" que serán restrictivas , si se trata de la CV, Obstructivas, si son VMFME y VEF, y mixtas si se afectan variables intra y extra pulmonares.

En Medicina Deportiva el espirograma tiene un valor diagnostico, es decir, descarta las patologías, pero no se considera como evaluador del entrenamiento, aunque en el transcurso de la actividad física programada algunos de estos parámetros se benefician especialmente la CV.

DIFUSION DE O₂ Y CO₂

Los gases alveolares están en estrecha proximidad con la sangre de los capilares en consecuencia, el recambio gaseoso entre el aire alveolar y la sangre pulmonar se produce a través de la membrana respiratoria o membrana pulmonar.

Membrana respiratoria: A través de ella se efectúa la difusión del O₂ del alvéolo hacia el eritrocito y la difusión del CO₂ en sentido inverso, consta de las siguientes capas:

- 1- Una capa de liquido que reviste el alvéolo y contiene una mezcla de fosfolípidos y otras sustancias que disminuyen la tensión superficial del liquido alveolar (Surfactante).

2- El epitelio alveolar, constituido por células epiteliales muy delgadas.

3- Una membrana basal epitelial

4- Un espacio intersticial muy delgado, entre el epitelio alveolar y la membrana capilar

5- Una membrana basal capilar, que en muchos lugares se fusiona con la membrana basal del epitelio

6- La membrana endotelial capilar

A pesar del gran número de capas, el espesor global de la membrana respiratoria, en algunos lugares, es tan pequeño como 0.2 micras, y como promedio 0.73 micras.

Según estudios histológicos, se ha calculado que la superficie total de la membrana respiratoria es de aproximadamente 160 metros cuadrados en un adulto normal. Esto equivale al suelo de una habitación, que tenga aproximadamente 15 m de largo por 9 m de ancho. La cantidad total de sangre que existe en los capilares pulmonares en un momento dado es de unos 60 a 140 ml, por lo que esta pequeña cantidad de sangre, extendida por toda esa superficie, hace más fácil comprender la rapidez del intercambio gaseoso (fig. 3)

CAMBIOS DE LA CAPACIDAD DE DIFUSION DEL O₂ DURANTE EL EJERCICIO.

Con el ejercicio enérgico o durante otras situaciones que incrementan en gran medida el flujo sanguíneo pulmonar y la ventilación alveolar la capacidad de difusión del oxígeno se incrementa en varones adultos jóvenes hasta 3 veces la capacidad de difusión en condiciones de reposo. Este aumento depende de dos factores diferentes:

1. La apertura de ciertos números de capilares pulmonares que antes estaban cerrados, con lo cual se incrementa la superficie de sangre hacia la cual puede difundir el oxígeno.

2. La dilatación de todos los capilares pulmonares que ya estaban abiertos, con lo cual también aumenta el área total de difusión. Por lo tanto durante el ejercicio la oxigenación de la sangre aumenta, no solo, porque se incrementa la respiración alveolar, sino también por una mayor capacidad de la membrana respiratoria para facilitar el paso de oxígeno a la sangre.

CAPACIDAD DE DIFUSION DEL DIOXIDO DE CARBONO.

La capacidad de difusión para el dióxido de carbono nunca se ha medido, debido a que este gas difunde a través de la membrana respiratoria tan rápidamente que su presión en sangre pulmonar no es muy diferente de la que tiene en los alvéolos, pero si sabemos que el coeficiente de difusión de este gas es 20 veces mayor que el del oxígeno.

TRANSPORTE DE OXIGENO Y DE DIOXIDO DE CARBONO

La presencia de hemoglobina en los glóbulos rojos, permite el transporte de una cantidad de 30 a 100 veces superior a la que sería transportado si el oxígeno fuera meramente disuelto en ella.

En las células tisulares el oxígeno reacciona con varios elementos nutritivos para formar grandes cantidades de dióxido de carbono. Este a su vez entra en los capilares tisulares y regresa con la sangre nuevamente a los pulmones.

El dióxido de carbono, al igual que el oxígeno, se combina con sustancias químicas en la sangre que aumentan la facilidad para su transporte aproximadamente de 15 a 20 veces.

En estado normal, aproximadamente el 97% del oxígeno es transportado de los pulmones a los tejidos en combinación química con la hemoglobina de los glóbulos rojos; el 3% restante es transportado disuelto en el agua del plasma y de las células. Así pues, en condiciones normales el oxígeno es transportado a los tejidos casi completamente por la hemoglobina.

TRANSPORTE DE OXIGENO DURANTE EL EJERCICIO INTENSO.

En el ejercicio enérgico las células utilizan el oxígeno con gran intensidad, lo que hace que la presión de oxígeno del líquido intersticial disminuya, debido a ello, únicamente 4,4 ml. de oxígeno se combinan con la hemoglobina de cada 100 ml. de sangre. Así llega a transportarse hasta el triple del oxígeno que normalmente pasa a través de los tejidos. Cuando se recuerda que el gasto cardíaco puede incrementarse hasta 6 o 7 veces lo normal en los maratonistas bien entrenados, la multiplicación de estos dos factores produce un incremento de 20 veces en el transporte de oxígeno de los tejidos; este es aproximadamente el límite a que se puede llegar.

El volumen sanguíneo y la concentración de hemoglobina juegan un importante papel en el transporte de O₂, ambos (VS y C Hb) pueden marcadamente afectar la máxima capacidad aeróbica, sin embargo, el papel del VS en dicho transporte de O₂ y la ejecución aeróbica no está bien delimitada. Se ha postulado, recientemente, que un aumento agudo del VS, usando plasma, independientemente de los cambios en la Hb, pueden representar una peculiaridad del

potencial ergogénico. Los estudios realizados revelan que el impacto del VS en la capacidad aeróbica y las ejecuciones de resistencia se manifiestan de acuerdo a la fuerza individual y a los diseños de los diferentes autores; por ejemplo una parte de los investigadores refieren si hay efecto en los cambios agudos en el VS, de ellos algunos dicen que hay una discreta reducción del $\dot{V}O_2$, y otros, que el incremento es significativo. En conclusión, no parece haber relación entre el aumento del VS y el $\dot{V}O_2$ máximo en sujetos no entrenados .

El transporte de dióxido de carbono no constituye un problema tan grande como el transporte de oxígeno, porque aún en las condiciones más anormales suele ser transportado por la sangre en mayores cantidades que éste. Sin embargo, la cantidad de dióxido de carbono en la sangre tiene mucho que ver con el equilibrio ácido-básico de los líquidos orgánicos.

En condiciones de reposo, con cada 100 ml de sangre se transporte de los tejidos a los pulmones 4 ml de dióxido de carbono.

Cociente de intercambio respiratorio.

El transporte normal de oxígeno de los pulmones a los tejidos para cada 100 ml de sangre es de aproximadamente 5 ml., en tanto que el transporte normal de dióxido de carbono desde los tejidos a los pulmones es de aproximadamente es de 4 ml. por tanto, en condiciones normales de reposo en los pulmones sólo se espira un 80 % de dióxido de carbono en comparación con el volumen captado de oxígeno. La proporción entre eliminación de dióxido de carbono y captación de oxígeno se llama COCIENTE DE INTERCAMBIO RESPIRATORIO (R). Esto es:

Intensidad de eliminación de dióxido de carbono

$$R = \frac{\text{Intensidad de eliminación de dióxido de carbono}}{\text{Intensidad de captación de oxígeno}}$$

El valor para R cambia según las condiciones metabólicas. Cuando una persona emplea carbohidratos para el metabolismo corporal, R se eleva hasta 1.00; por otra parte cuando la persona casi exclusivamente utiliza grasas para su consumo metabólico cae hasta 0.7. El motivo de esta diferencia es que cuando se metaboliza oxígeno junto con hidratos de carbono se forma una molécula de dióxido de carbono por cada molécula de oxígeno consumida, en tanto que si el oxígeno reacciona con las grasas, gran parte del mismo se combina con átomos de hidrógeno para formar agua en vez de producir dióxido de carbono.

En otras palabras el cociente respiratorio de las reacciones químicas en los tejidos cuando se metabolizan grasas es aproximadamente 0.70, en vez de 1,00 como ocurre cuando se utilizan carbohidratos.

Para una persona que sigue una dieta normal, consumiendo cantidades adecuadas de carbohidratos, proteínas y grasas el valor medio de R es de 0.825.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Astrand P.O. Fisiología del ejercicio y del trabajo físico. Mc Graw - Hill Book Co. N.Y. 1986.
2. Astrand P.O. y Rodhal K. Bases fisiológicas del ejercicio. 3a. ed. 1992.
3. Astrand P.O. Ryhming. A normograph for calculation of aerobic capacity from rate during submaximal work. J. Appl Physiol 7:218-21 1954.
4. Basset F.A. Boulay M.R. Specificity of tread mill and cycle ergometer tests in triathletes runners and cyclists. Eur J APPL Physiol 2000 Feb; 81 (3):214-21.
5. Basset DR; Edward JR; Howley T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. Mes. Sci. Sports. Exerc. 2000; 32 : 70
6. Bergh U. Ekblom B. Astrand P O. Maximal Oxygen uptake "classical" versus"contemporary" viewpoints. Med. Sci. Sports Exerc. 2000; 32 : 85
7. Blanco H. J. Areas funcionales de entrenamiento. Formación continuada. Archivos de Medicina Deportiva. Vol XV No. 63 : 61-63 1998.
8. Blanco Herrera J. Conferencias sobre umbral anaeróbico y deuda de O₂. I.M.D. Cuba 1986.
9. Blanco H. J. Determinación de la zona de transición aeróbico-anaeróbico en atletas cubanos. Archivos Medicina Dep. Vol. 1 No. 21:175-179. 1989.

10. Calbet J.A.L. Factores determinantes de la resistencia cardio-respiratorio: papel del aparato respiratorio. Archivo Med. Deportiva Vol XV No. 63: 47-54. 1998.
11. Carvalho P. Fisiología Esportiva . 2 ed. Guanabara Koogan. 1983.
12. Cooper, K.H. Aerobics. Mc Evans and Co. New York 1968.
13. Ferguson, T. [Aerobic and anaerobic systems.](#) , In Ferguson, T. (ed.), GCSE physical education: a revision guide, Champaign, Ill., Human Kinetics, c2002, p.39-43;168-171;219
14. Fox E.L. Fisiología del deporte. 2 ed. Philadelphia. W.B. Saunders. 1989.
15. George, James D.; Paul, Samantha L.; Hyde, Annette; Bradshaw, Danielle I.; Vehrs, Pat R.; Hager, Ronald L.; Yanowitz, Frank G. [Prediction of Maximum Oxygen Uptake Using Both Exercise and Non-Exercise Data.](#) Measurement in Physical Education & Exercise Science Jan-Mar2009, Vol. 13 Issue 1, p1
16. González Gallego J. Fisiología de la actividad física y del deporte. Interamericam. Mc Graw-Hill . 1994.
17. Grassi B. Skeletal muscle VO₂ on kinetics; set by O₂ delivery or by O₂ utilization? New insights into an old issue. Med. Sci. Sports Exerc. 2000; 32 : 108
18. Guyton A.C. Fisiología Humana 6a. ed. Ed. Revolucionaria 1987.

19. Hepple R.T. Skeletal muscle: neurocirculatory adaptation to metabolic demand. Med.Sci. Sports Exerc. 2000; 32 : 117

20. Hill A. V, Hale, Tudor. [History of developments in sport and exercise physiology: A. V. Hill, maximal oxygen uptake, and oxygen debt.](#) Journal of Sports Sciences Feb2008, Vol. 26 Issue 4, p365

21. Hobo S et al Is ventilation during maximal exercise limited by dynamic airway closure?. Equine Vet J Suppl 1999 Jul 30 :39-44

22. Hue O, et al Performance level and cardiopulmonary responses during a cycle run trial Int J. Sport Med 2000 May, 21 (4): 250-5

23. Hue O, et al Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake in present triathletes. can J. Appl Physiol 2000. Apr,25 (2):102-13

24. Karpman. Investigaciones físicas de la capacidad de trabajo en los deportistas. Cultura y Deportes. Moscú .1974.

25. Lamb D. Respuestas y adaptaciones. Fisiología del ejercicio. Purduc University West Lafayette. Indiana, N.Y. 1985.

26. Leger L et al Gross energy cost of horizontal treadmill and track running. Sports medicine 1:270-277. 1984.

27. Lehninger. Fisiología del ejercicio. 1980.

28. LEGH, CHRIS, [ANAEROBIC THRESHOLD RUNNING](#), Australian Triathlete 2009, Vol. 16 Issue 8, p66
29. López Chicharro J. et al Fisiología del ejercicio físico. Interamericana Mc Graw-Hill.Madrid. 1995.
30. López Chicharro J. et al Umbral anaeróbico bases fisiológicas y aplicaciones interamericana. Mc Graw-Hill. Madrid 1991.
31. Margaria R. et al. Measurement of muscular (anaerobic) power in man. J. Appl. Physiol.1966; 21: 1662
32. Margaria R. et al. A simple relation between performance in running and maximal aerobic power. J. appl. Physiol. 38: 351-352 1975.
33. Mazorra R. Actividad física y Salud. La Habana. Cuba 1984
34. Meyer, T.; Welter, J.P.; Scharhag, J.; Kindermann, W. [Maximal oxygen uptake during field running does not exceed that measured during treadmill exercise.](#) European Journal of Applied Physiology Jan 2003: Vol. 88 Issue 4/5. p.
35. Mc. Ardle Katch-Katch. Exercise Physiology. Energy, nutrition and human performance 4th. Ed. 1996.
36. Mc Ardle W. Fisiología del ejercicio 1990.

37. Mickelson T.C. et al. Anaerobic Threshold measurements of elite oarsmen. Med. Sc.Sports Exerc. 14: 440-444, 1982.
38. Morehouse L. E. Laboratory manual for Physiology of exercise. C.V Mosby, Ontario 1972.
39. Olympic Book of sport Med. ed. by Dirix, Knuttgen and Tittel. Blackwell Scientific Publications Vol 1 1988.
40. Pfitzinger, P. [Maximum volume and delivery: how important is \$VO_2\$ max and how do you improve it?](#) Running Times May 2004: Issue 316. p. 10
41. Reindell H. et al. The equivalent of heart volume. Sport Med. Sport Tourism. Ed Bucharest 1982.
42. Renoux J.C. et al Calculation of times to exhaustion at 100 and 120 % maximal aerobic speed. Ergonomics 2000 Feb, 43(2) 160-6
43. Rev. Arch. Med. Dep. Fed. Española de Med Dep FEMEDE Vol 9 NO. 33 1992
44. Rev. Arch. Med Dep. Fed. Española de Med. Dep. FEMEDE vol 9 No. 34 1992
45. Richardson R.S. Harms C.A. Grassi B. Hepple R.T. Skeletal muscle: master or slave of the cardiovascular systems? Med. Sci. Sport Exerc. 2000; 32 ; 89
46. Richardson R.S. What governs skeletal muscle VO_2 max.? New evidence. Med Sci. Sport Exerc. 2000; 32: 100.

47. Rivera M.A. Concepto Fitness, definiciones conceptuales y operacionales. Med. Sci.Sports Exerc. 14:143-147 1986.
48. Shepard R.J. Endurance Fitness. Toronto Univ. Press, Toronto; 1969
49. Vogiatzis, I.; Zakyntinos, S.; Georgiadou, O.; Golemati, S.; Pedotti, A.; Macklem, P. T.; Roussos, C.; Aliverti, A. [Oxygen kinetics and debt during recovery from expiratory flow-limited exercise in healthy humans.](#) European Journal of Applied Physiology Feb2007, Vol. 99 Issue 3, p265
50. Warburton D.E. et al Blood volume, aerobic power, and endurance performance: potential ergogenic effect of volume loading. Clin J. Sports Med 2000 Jan 10 (1):59
51. Wasserman K. Breathing during exercise. New Engl. J. Med. 1978 ; 298 : 780
52. Wasserman K. and Mc Ilroig M.B. Detecting the threshold anaerobic metabolism in cardiac patients. Am. J. Cardiol. 1964; 14 : 844
53. Ferguson, T. [Aerobic and anaerobic systems.](#) , In Ferguson, T. (ed.), GCSE physical education: a revision guide, Champaign, Ill., Human Kinetics, c2002, p.39-43;168-171;219