

LA CAPACIDAD AEROBICA

*Elkin Martinez L. **

Nutrientes + O₂ --- H₂O + CO₂ + energía

Tal vez en forma extremadamente simple, pero válida, esta reacción representa la esencia de la vida en los seres humanos. El procesamiento metabólico de los nutrientes que el

organismo ingiere, con la insustituible presencia del OXIGENO permiten generar la ENERGIA que el cuerpo necesita para atender a las distintas actividades vitales, al tiempo que se producen otras dos sustancias de fácil eliminación: el gas carbónico y el agua.

Si bien es cierto que el organismo está en condiciones de producir energía por otras vías metabólicas las cuales no precisan oxígeno, la capacidad energética por estas reacciones alternas no es muy grande y se agota fácilmente, unos 4 6 5 minutos bajo exigencias físicas extremas. Esta posibilidad de producir energía rápida sin recurrir al oxígeno es apenas un mecanismo de reserva que sabiamente fue dispuesto para solucionar situaciones de apremio físico, sin embargo es conveniente reiterar que su duración es muy limitada.

Parece claro, entonces que la sobrevivencia del organismo se fundamenta en su capacidad para producir energía en forma permanente y prolongada a partir de los diversos nutrientes y contando claro está con un suministro adecuado de oxígeno. De una vez es oportuno decir que mientras mayor sea la

capacidad de un individuo para consumir oxígeno y para procesarlo intracelularmente, mayores serán sus posibilidades de producir energía durante las exigencias físicas vigorosas y de larga duración. Esta posibilidad de los seres vivos para aprovechar metabólicamente el oxígeno se conoce como CAPACIDAD AEROBICA y se expresa para fines comparativos en mililitros de oxígeno por minuto y por kilogramo de peso corporal (ml.O₂/kg./min.).

Todos los nutrientes pueden químicamente ser derivados hacia el procesamiento químico intracelular de tipo aeróbico, no obstante, el organismo en condiciones normales utiliza principalmente grasas y carbohidratos para este fin, los cuales suele tener en abundancia, almacenados en distintos lugares del cuerpo, incluyendo el músculo, pero preserva las proteínas, respetando en ellas su trascendental función en los seres vivos. Sólo bajo condiciones extremas las proteínas son degradadas por el metabolismo energético, como ocurre en casos de desnutrición severa y quizá en casos de sobrecarga física o sobreentrenamiento.

Las grasas en especial son el sustrato o la fuente de energía preferida en los procesos de tipo aeróbico. Esto no solamente es práctico, por su abundancia en el organismo sino también porque ofrece mayor rendimiento energético que los carbohidratos y las proteínas mismas. Aproximadamente el doble de la energía se obtiene por el desdoblamiento de un gramo de grasa, comparado con un gramo de hidrato de carbono o de proteínas.

-
- Médico de la Sección de Medicina Deportiva del Instituto Univers, de Educ. Física y Deporte.

Es interesante también recordar que los excesos de carbohidratos o azúcares en el organismo son convertidos por el hígado en grasas y en esta forma almacenados especialmente debajo de la piel.

La capacidad aeróbica ha sido considerada como la medida fisiológica más importante en el ser humano para pronosticar su rendimiento físico en actividades de larga duración y en cierta forma para conocer la funcionalidad de los distintos sistemas orgánicos involucrados en el transporte de oxígeno.

Es asombroso encontrar cuántos factores orgánicos afectan de una u otra forma la capacidad de un individuo para consumir oxígeno. Enumeremos los más importantes:

- *Aparato ventilatorio.* La capacidad de un individuo para entrar y sacar aire de los pulmones depende de las vías de conducción respiratorias, su permeabilidad y estado funcional. Así mismo el intercambio gaseoso en los pulmones depende de las condiciones de salud de la membrana alvéolo-capilar y la capacidad de expansión torácica.
- *Sangre.* La hemoglobina presente en los glóbulos rojos es la sustancia responsable de transportar el oxígeno hacia los tejidos. Por tanto la cantidad de aquella presente en el torrente sanguíneo y la saturación con este gas en los pulmones condiciona también la máxima capacidad aeróbica.
- *Corazón.* Como órgano muscular potente y resistente cumple la función de propulsar la sangre cargada de oxígeno hacia los tejidos. La cantidad de sangre expulsada por el corazón en un minuto se conoce como gasto cardíaco y es índice fisiológico importante para definir la potencia cardíaca, sobre todo cuando se evalúa ante un esfuerzo muy vigoroso. La suficiencia del corazón para propulsar sangre durante esfuerzos fuertes es quizá uno de los factores más críticos en el consumo máximo de oxígeno.

— *Vasos sanguíneos.* La amplitud de las arterias, el número y calibre de los capilares que irrigan a los tejidos, y en general la limpieza y distensibilidad de todo el árbol vascular juegan papel importante en el transporte de oxígeno por la sangre. La arterioesclerosis es precisamente el trastorno degenerativo universal que afecta desfavorablemente la perfusión de los órganos más vitales, produciendo limitaciones en el aporte de oxígeno en muchas ocasiones de carácter fatal.

— *Metabolismo intracelular.* En pocas palabras, se refiere al gran número de factores que participan en el proceso óxido-reducción de los alimentos hasta extraer de ellos la energía que ha de ser guardada en última instancia en compuestos fosforados como el Adenosin Trifosfato y la Fosfocreatina. Es aquí importante entonces considerar la presencia de enzimas oxidativas, la magnitud y el número de mitocondrias, el acumulo de sustratos como el glucógeno y los ácidos grasos y aún la presencia de la Mioglobina, pigmento capaz de ligar oxígeno y almacenarlo en el músculo mismo.

— *Sistema endocrino.* Ciertas hormonas como la tiroxina, las catecolaminas (Adrenalina y Noradrenalina), la insulina, la soma totrofina y los corticoesteroides afectan profundamente los procesos metabólicos y secundarios a ellos modifican el consumo total de oxígeno.

— *Sistema neuromuscular.* A medida que el movimiento involucra una mayor masa muscular, el consumo de oxígeno total aumenta, por tanto la intervención del control neurológico y la coordinación de los movimientos afecta el consumo de oxígeno. Se ha sugerido inclusive que la medición del oxígeno utilizado en la realización de un determinado movimiento puede ser indicador indirecto del grado de armonía, precisión o mejor dicho de la coordinación motora específica.

- *Otros sistemas.* De alguna forma la digestión y asimilación de los nutrientes repercute en el proceso aeróbico, así mismo la intervención mediadora del hígado en el suministro y conversión de sustratos almacenados. Aún la función renal pudiera jugar un papel importante en la conservación de la homeostasis química la cual tiende a desestabilizarse ante los procesos metabólicos energéticos intensivos.

Prácticamente todos los sistemas participan en el proceso vital del metabolismo aeróbico. por tanto sin ningún reato puede afirmarse que la medida de la capacidad aeróbica es al mismo tiempo una prueba funcional integral del organismo, de su potencia) energético y especialmente una prueba de eficiencia de los sistemas más cardiocirculatorio y respiratorio.

Además otros factores no propiamente orgánicos afectan el consumo máximo de oxígeno, la capacidad aeróbica o lo que es igual, la capacidad para tolerar ejercicios intensos, rítmicos y prolongados, también conocida como resistencia general. Cabe destacar los siguientes:

- *Medio ambiente.* El aire que nos circunda es rico (20% aproximadamente) en oxígeno pero la cantidad de este precioso gas en el aire, varía según la altura, la presión atmosférica, la contaminación, la arborización, etc.
- *Sexo.* Las mujeres tienen un consumo de oxígeno máximo 10 a 15 por ciento menor que el de los hombres probablemente porque ellas poseen una menor cantidad de hemoglobina y además porque la proporción de grasa corporal es notablemente más alta al tiempo que la masa corporal más baja en comparación con los varones.
- *Edad* La capacidad aeróbica se incrementa gradualmente después del nacimiento hasta alcanzar su máximo valor alrededor de los 20 años de edad, después de lo cual

se inicia un decremento muy gradual al principio pero más acentuado a partir de los 30-35 años para hacerse muy marcado el descenso hacia la edad senil.

- *Entrenamiento físico.* El condicionamiento corporal con el ejercicio, especialmente si es continuo, progresivo y de larga duración incrementa la capacidad aeróbica en un porcentaje variable entre 10 y 35% aproximadamente.
- *Herencia.* La genética es probablemente el determinante fundamental de nuestra capacidad aeróbica al lado de la cual los aspectos ambientales pierden un poco de importancia. Esto quiere decir que la razón primera para que un individuo tenga un mayor o menor consumo de oxígeno durante un esfuerzo vigoroso, radica en la dotación genética que ha heredado de sus padres, claro está, susceptible de ser modificada en alguna medida por influencias del medio en el cual se desarrolla el sujeto en consideración. La genética condiciona, pues, en gran parte la funcionalidad de los sistemas orgánicos antes mencionados como partícipes en el proceso aeróbico.

MEDICION DE LA CAPACIDAD AEROBICA

La capacidad aeróbica es probablemente el componente más importante en la aptitud física general, implica la concurrencia funcional de prácticamente todos los sistemas orgánicos y es sin duda la base de todos los programas de preparación físico-atlética. Por todo esto no es extraño que sea al mismo tiempo la variable fisiológica más estudiada por los científicos del deporte.

La medición del potencial aeróbico de un individuo se hace con base en el consumo máximo de OXIGENO y se implementa a través de diversos procedimientos. Se consideran DIRECTAS las pruebas que evalúan la cantidad de oxígeno que el sujeto consume mientras se halla conectado a un sistema ana-

lizador de gases y se somete a la realización de un esfuerzo progresivo hasta el agotamiento. Se llaman INDIRECTAS aquellas evaluaciones que no miden propiamente los gases, sino que a través de ejercicios unas veces máximos, otras submáximos, calculan el potencial aeróbico total aplicando relaciones ya bien establecidas de esta variable fisiológica con la frecuencia cardíaca durante el ejercicio o bien con la carga de trabajo que se realiza.

- *Equipos ergométricos.* Al determinar la capacidad aeróbica se precisa como es obvio, que el individuo sea sometido a una prueba de esfuerzo para lo cual se utilizan diversos instrumentos y también diversas clases de ejercicios. Bien sea que se traten de pruebas directas o indirectas, la bicicleta ergométrica y la banda rodante son los aparatos más comúnmente utilizados, en los cuales el sujeto examinado realiza el ejercicio mientras es revisado o monitoreado permanentemente en sus funciones cardiocirculatorias y/o respiratorias. En la bicicleta estática el evaluado pedalea aun ritmo constante movilizándolo muy activamente las piernas pero manteniendo relativamente quietos el tronco y los brazos lo cual permite un mejor registro de los datos cardiorespiratorios. En la banda rodante se realiza un ejercicio tal vez más integral como lo es caminar, trotar y eventualmente correr, la movilización del cuerpo es tal que hace difícil el proceso de registro, pero los valores de consumo máximo de oxígeno obtenidos por este medio son discretamente (8-10%) mayores que con la bicicleta.

También se emplean para este tipo de evaluaciones otros elementos: tales como escalas, piscinas, pistas atléticas y algunos aparatos especiales de reciente diseño y fabricación como remoergómetros y ergómetros de esquí. La proliferación de elementos para medición busca adaptarse lo más cercanamente posible a los distintos tipos de ejercicios en los cuales se especializan los atletas y eliminar de esta forma las posibles causas de error que de-

termina la desadaptación del ser humano en el laboratorio. Se ha visto claramente que cada deportista muestra un mejor registro aeróbico cuando es examinado en un aparato que reproduce el movimiento básico de su deporte específico, de esta forma conviene medir a los atletas en una banda rodante, a los ciclistas en una bicicleta ergométrica, a los remeros en un remoergómetro. etc. Desde luego esta evaluación discriminada no está al alcance de la inmensa mayoría de los presupuestos. La escala, la bicicleta y la banda rodante son los ergómetros de mayor solicitud, dados su mayor accesibilidad y la simplicidad de su utilización.

- *Pruebas directas.* Se trata de pruebas de esfuerzo que se prolongan hasta el agotamiento realizadas en un aparato ergométrico, generalmente la bicicleta o la banda rodante e implican el registro simultáneo de funciones cardíaca y respiratoria. Usualmente se mide además del oxígeno consumido por el individuo, el gas carbónico producido, la ventilación pulmonar por minuto y también algunos volúmenes y capacidades respiratorias.

La medición de los gases plantea dos clases de sistemas espirométricos: unos de circuitos cerrado y otros de circuito abierto. Los primeros permiten el suministro controlado de oxígeno y una corriente de aire que fluye por un circuito mecánico al cual está conectado el sujeto, precisa así mismo la eliminación del gas carbónico lo cual implica aditamentos voluminosos con cal sódica para absorberlo y cuantificarlo. El circuito abierto permite el diseño de aparatos más compactos en los cuales se calibra electrónicamente la concentración de oxígeno y gas carbónico en el aire del ambiente, este aire será inspirado por el examinado después de lo cual se recogen muestras del volumen espirado para calcular sistemáticamente las cantidades de oxígeno sustraído y de gas carbónico adicionado en la unidad de tiempo.

El sistema de medición directa se hace en laboratorios bien implementados y requiere de equipo sofisticado, personal bien adiestrado y recursos físicos apropiados. Entrega sin duda, una medición más precisa de la capacidad aeróbica del individuo pero sobre todo permite una evaluación momentánea y sucesiva del estado metabólico del individuo durante el esfuerzo y también posibilita la constatación de los criterios que denotan cuando un individuo ha alcanzado el máximo consumo de oxígeno.

Existen diversos protocolos para la prueba ergométrica. Cada uno de los cuales propone una determinada carga inicial, un incremento gradual de la carga y una duración definida para cada nivel de trabajo. Todas las distintas clases de pruebas plantean como hechos comunes una fase previa de calentamiento a baja intensidad y una progresión ascendente de la carga hasta llegar al agotamiento. Así mismo se articula un sistema registrado de gases el cual varía en grado de sofisticación según tenga o no controles electrónicos automatizados.

Para tener certeza en la medición directa de haber alcanzado el nivel máximo de capacidad aeróbica se admiten algunas indicaciones:

- El consumo de oxígeno debe haberse estabilizado a pesar de un adicional incremento de la carga.
- El cociente respiratorio que relaciona el gas carbónico producido con el consumo de oxígeno por minuto (CO_2/O_2) debe haber superado el valor de uno (1).
- La frecuencia cardíaca debe hallarse muy cerca al valor teórico máximo esperado, dado por la fórmula 220 menos la edad en años.
- El equivalente respiratorio, o sea la fracción del volumen respiratorio por minuto, sobre el consumo de oxígeno (VE/VO_2) debe ser superior a 35.

- Cuando tiene ocasión de medirse el ácido láctico éste debe haber superado el valor de 8 m. Equ./L equivalente a unos 70 mg. % en la sangre.

— *Pruebas indirectas.* La imposibilidad de contar en todas partes con equipos, personal y recursos apropiados para la medición directa del máximo consumo de oxígeno, impulsó a los investigadores a diseñar procedimientos más simples, de fácil ejecución, bajo costo, mínima implementación, pero al mismo tiempo que tuvieran un alto índice de validez.

Gracias al esclarecimiento de una muy buena relación entre el consumo de oxígeno y la carga de trabajo que un individuo realiza fue posible desarrollar tablas y ecuaciones que facilitan el cálculo de las equivalencias entre estas dos variables. También se establecieron las correspondientes relaciones con el requerimiento calórico para diversas actividades según el grado de intensidad al cual son ejecutadas.

Muy interesante es también la relación que existe entre la intensidad del trabajo que se realiza en un momento dado, con la respuesta o activación cardiocirculatoria que se verifica para atender a la demanda energética que ese ejercicio determina. El organismo sin embargo no se ajusta automáticamente a las exigencias físicas del medio ambiente externo, sino que toma para adaptarse 3-4 minutos en cargas submáximas. El concepto de "Estado estable" surgió precisamente para referirse a la situación en la cual el sistema transportador de oxígeno, ligado íntimamente a la función cardíaca, se encuentra en perfecta armonía con las exigencias metabólicas que genera en el organismo un ejercicio de intensidad definida.

La actividad cardiocirculatoria ofrece dos indicadores fidedignos del nivel de funcionamiento al cual se encuentra funcionando, ellos son la presión arterial y la frecuencia

cardiaca. Esta última se evalúa fácilmente por medios palpatorios, auscultatorios y electrocardiográficos, lo cual la convierte en una herramienta tremendamente útil en la determinación del trabajo corporal y del consumo de oxígeno bajo condiciones de estado estable. En dichos principios se fundamenta una de las pruebas indirectas más populares para medir la capacidad aeróbica y la cual fuera diseñada por un célebre científico sueco el Dr. Per Olaf Astrand.

Basado en la correlación mencionada entre una determinada actividad física y el consumo de oxígeno, el Dr. K Cooper propuso otra de las pruebas más sencillas y famosas para evaluar la capacidad aeróbica. El examinado se expone a un esfuerzo máximo regulado, en la cual debe correr la mayor distancia posible en el transcurso de 12 minutos. El desplazamiento realizado medido en metros puede fácilmente convertirse a volumen de oxígeno consumido por unidad de peso y de tiempo. Para este fin se utilizan las tablas correspondientes o bien se aplica la fórmula.

$$VO_2 \text{ máx} = \frac{D - 504}{45}$$

Donde: $VO_2 \text{ máx}$ = Capacidad aeróbica (ml O_2 /kg/min.)
 D = Desplazamiento en metros durante 12 minutos.

Utilizando escalas de diferentes dimensiones son bien conocidas otras pruebas pío puestas por el Dr. B Balke y por la Dra I Rhymm. Ambas evaluaciones son de fácil aplicación y suministran valores de capacidad aeróbica bastante satisfactorios aunque como es lógico existe un margen de error que pudiera llegar hasta 10-15%.

El Dr. Bruce ha propuesto para realizarse en banda rodante una prueba ergométrica

de mucha utilización para pacientes cardíacos y personas sedentarias aunque los incrementos de carga dados por los ajustes en velocidad y en inclinación de la banda, resultan algo grandes, limitando así una evaluación más discriminada de la intensidad del esfuerzo.

El Dr. Balke también ha propuesto una prueba ergométrica en banda sin fin. la cual ha sido bien aceptada, conserva constante una velocidad de giro mientras se va incrementando la mejor cada minuto. Esta prueba discrimina mejor la intensidad del ejercicio y permite sacar conclusiones a partir del tiempo que la persona tolera sobre la banda en funcionamiento.

El CIPTAF (Comité Internacional para estandarización de pruebas de aptitud física) propone otro tipo de evaluación en banda rodante. Al igual que en la anterior la velocidad permanece fija mientras se varía la inclinación. Tiene la ventaja de procurar incrementos graduales con un MET de diferencia (1MET = 3.5 ml. de O_2 /kg/min) lo cual permite una fácil interpretación de los resultados y una definición muy simple del nivel de carga.

En resumen son muchos los protocolos propuestos para evaluar la capacidad aeróbica de un individuo. Un laboratorio bien implementado permitirá la escogencia de pruebas directas con análisis automatizado de los datos y un alto nivel de confiabilidad en los resultados. En otras circunstancias las pruebas indirectas serán adoptadas, especialmente cuando se desea evaluar grandes grupos humanos Para rehabilitación cardiaca se prefieren esquemas graduados de baja intensidad en bicicleta o banda rodante. La evaluación de los deportistas puede también realizarse con un buen grado de confianza a través de pruebas de campo. En última instancia la selección de la prueba ergométrica más apropiada se rige por las condiciones específicas del medio ambiente en el cual se desempeñan el evaluador y el evaluado.

BIBLIOGRAFIA

- Ait rand, P.O. y K. Rodahl. "Evaluation of Physical Work Capacity on the basis of Tests". *Tex book of Work. Physiology*. Mc Graw Hill New York. 1977. p. 331.
- Astrand. P. O. e I. Rymingh. "A Nomo-rim for calculation of Aerobic Capacity from pulse during submaximal Work". *J. Appl. Phys. T*: 218, 19W.
- Cooper, K. *El Camino del Aerobics*. Ed. Diana. México. O F. 1979.
- Del Monte, A. *Avaliacao Funcional do Atli'ta Fisiología Esportiva*. (Pini. editor). Guanabara Koogan. Riode Janeiro. 1978 p. 133
- De Rose, E. y J. Ribeiro. *Avaliacao da Capacidade de procesar Energía. Fisiología Esportiva*. (Pini, editor) Guanaba'a Koogan 2a ed Río de Janeiro. 1983.
- Heck. H. y W. Hollmann. "Principios de la Ergoespirometría". *Sistema Cardioespiratorio y Deporte*. (Rittel editor). Copiservicio. Medellin. 1980.
- Hollmann. W. y Liesen. "Avaljcao do Ati-tude Física". *Medicina Esportiva. Clínica e Pnttica*. (Hulleman. editor). EOUSP EPU. Sao Paulo 1978.
- Martínez E. "La Evaluación Funcional". *Educación Física y Deporte*. Vol. 4 No. 1. 1982.
- Rittel, H. F. "Fundamentos de la Ergo-metría". *Sistema Cardiorespiratory y Deporte*. Copiservicio. Medellin, 1980.
- Stamford. B. The Results of Aerobic Exercise. *77ie Physician and Sportsmedi cine*. Vol. 11 No. 9. Sep 83. p. 145.
- Weltman. A. and B Stanford. Vii. A measure of fitness. *The Physician and Sportsmedicine*. Vol. 10. No. 6 June 82. p. 212.
- Wilmore. J. *Training for Sport and Activity*. The physiological basis of the Conditioning process. 2. ed. Allyn and Bacon INC. Boston. 1982.



Tomado de: LPV. La Habana 24 (1235) Febrero, 1986