

Características funcionales de deportistas antioqueños de alto rendimiento

Rafael Caldas, Luis H. Valbuena, Alvaro Ortiz, Hilda N. Jaramillo

Se presentan los datos del consumo máximo de oxígeno ($VO_2\max$), de la capacidad física máxima de trabajo (PWC_{\max}) y de la capacidad física máxima de trabajo a 170 pulsaciones por minuto (PWC_{170}), de un grupo de deportistas de alto rendimiento, oriundos del departamento de Antioquia (Colombia). El estudio se realizó en 857 hombres competidores de atletismo de fondo, lucha olímpica, baloncesto, fútbol, microfútbol, ciclismo de pista, natación, patinaje y polo acuático. La valoración funcional se efectuó con un sistema espirométrico de

círculo abierto y con un cicloergómetro de frenado electromagnético o una banda rodante motorizada, de acuerdo con las características y el gesto motor del deporte evaluado. De acuerdo con los resultados del presente estudio, en los deportes pedestres evaluados con la banda rodante, las determinaciones del $VO_2\max$, de la PWC_{\max} y de la PWC_{170} , son excelentes indicadores de la capacidad aeróbica, pero no lo son cuando para su determinación se emplea el cicloergómetro; quizás esto se deba a que la ejecución del trabajo en el cicloergómetro compromete masas musculares y gestos motores diferentes a los empleados comúnmente.

Se propone la relación PWC_{170}/PWC_{\max} como un indicador de la eficiencia en la utilización de la capacidad aeróbica, útil para el diseño y control de los planes de entrenamiento en aquellos deportes en los cuales los procesos aeróbicos son determinantes para un adecuado desempeño.

Introducción

Toda actividad física implica una demanda energética, la cual tiene relación directa con la intensidad y la duración del trabajo realizado. Para cubrir dicha demanda la célula muscular posee tres sistemas metabólicos estrechamente relacionados: 1) El sistema aeróbico oxidativo que utiliza como sustratos los carbohidratos, los ácidos grasos y las proteínas; permite mantener por largo tiempo la actividad física; 2) El sistema glicolítico oxidativo, anaeróbico láctico, que utiliza como sustratos los carbohidratos; su producto final es un metabolito intermedio conocido como el ácido láctico, cuya acumulación en el medio celular compromete la contracción muscular y obliga a suspender prematuramente la actividad física y 3) El sistema creatina-fosfato-ATP, anaeróbico aláctico, que utiliza como sustratos las reservas de fosfógenos de las células musculares y que sólo permite

Dr. Rafael Caldas Zárate: MSc. Ciencias Básicas Biomédicas, Profesor Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia; Dr. Luis H. Valbuena R.: Licenciado en Educación Física, División de Medicina Deportiva, Coldeportes Antioquia; Dr. Alvaro Ortiz U.: Deportólogo, Profesor, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia; Dra. Hilda N. Jaramillo L.: MSc. Fisiología, Profesora, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Deportistas antioqueños de alto rendimiento

la ejecución de trabajos de corta duración (menos de seis segundos) (1).

Desde el punto de vista de la participación de los procesos metabólicos en la generación de la energía requerida para la actividad física (2), los deportes se clasifican de diversas maneras: 1) Aquéllos de predominio anaeróbico aláctico o de potencia, como eventos de velocidad corta, saltos y lanzamientos. 2) De predominio anaeróbico láctico, con modalidades de velocidad prolongada como los 400 metros en atletismo. 3) Aeróbicos-anaeróbicos máximos, con modalidades como los 1.500 metros en atletismo, los 4.000 metros en ciclismo de pista y los 800 metros en natación. 4) De régimen aeróbico-anaeróbico alterno, como el patinaje, el boxeo y los deportes de conjunto como el fútbol, el microfútbol y el baloncesto. 5) De predominio aeróbico, como el atletismo de fondo, el ciclismo de ruta y el triatlón. 6) De predominio neuromuscular, como la gimnasia y las artes marciales.

Para el estudio de las funciones respiratoria, cardiovascular y metabólica se utilizan, entre otras, las determinaciones del consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_2\text{max}$), de la capacidad física máxima de trabajo (PWC_{max}) y de la capacidad física submáxima de trabajo a 170 pulsaciones por minuto (PWC₁₇₀) (3,4).

El $\dot{V}O_2\text{max}$ ($\text{ml. min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) se define como la cantidad máxima de oxígeno utilizada por el metabolismo celular durante la realización de un trabajo físico; este parámetro es un indicador directo del metabolismo aeróbico oxidativo. Es modificado por la edad, el sexo, la herencia

y el entrenamiento (1,3). Para su medición directa se utiliza un analizador paramagnético de oxígeno, incorporado a un espirómetro de circuito abierto. Para su determinación indirecta se utilizan las ecuaciones lineales derivadas del análisis estadístico de los valores encontrados en las mediciones directas (5).

La PWC_{max} es la capacidad física de trabajo de un individuo. Se expresa en vatios sobre kilogramo (w. kg^{-1}) cuando se mide en el cicloergómetro. Un vatio equivale a $6.12 \text{ kg.m.min}^{-1}$. Cuando el ejercicio se realiza sobre una banda rodante, la PWC se expresa en $\text{m. seg}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (6). Un trabajo físico máximo involucra la participación de todas las vías metabólicas (6, 7); esto es, la vía aeróbica ($\dot{V}O_2\text{max}$) y las vías anaeróbicas, láctica y aláctica (1).

Durante la ejecución de un trabajo submáximo (no mayor de 90% del $\dot{V}O_2\text{max}$) existe una relación lineal entre la PWC y la frecuencia cardíaca (FC), así como entre la PWC y el $\dot{V}O_2$ (1, 3, 8); tanto la FC como el $\dot{V}O_2$, se incrementan proporcionalmente con la PWC. En consecuencia, también existe una relación lineal entre el $\dot{V}O_2$ y la FC. Se ha observado que, en individuos menores de 30 años (1, 3,5), se presenta pérdida de esta relación cuando la FC alcanza un valor entre 170 y 180 pulsaciones por minuto (ppm). En este rango de FC, la capacidad aeróbica oxidativa no alcanza a suplir las demandas energéticas de los músculos en actividad, lo cual hace necesaria la intervención de otros procesos metabólicos, en especial el anaeróbico láctico; por tal razón se ubica en esta zona el umbral aeróbico-

anaeróbico (UAA) (1). En consecuencia, la PWC₁₇₀ es un indicador indirecto e importante de la eficiencia en la utilización de la capacidad aeróbica del individuo.

De acuerdo con las demandas energéticas y las determinantes mecánicas y funcionales de una modalidad deportiva, es posible establecer sus características funcionales o sus perfiles específicos (9). Una vez establecidos unos valores de referencia, sirven para el control del entrenamiento deportivo y para conocer de qué manera los valores de un individuo se alejan de los esperados para la población.

El presente trabajo pretende establecer el perfil característico del $\dot{V}O_2\text{max}$, de la PWC_{max}, de la PWC₁₇₀ y de la relación PWC₁₇₀/PWC_{max} para algunas poblaciones deportivas.

Material y métodos

Para el presente estudio se evaluaron 857 hombres, todos catalogados como deportistas de alto rendimiento.

En la selección de la muestra se tuvo en cuenta que los deportistas estuvieran en la fase precompetitiva o competitiva de su ciclo de entrenamiento y que la evaluación ergométrica cumpliera con los criterios establecidos de esfuerzo máximo (10, 11). Todos los participantes fueron informados del procedimiento y sus posibles riesgos.

Las evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Fisiología, División de Medicina Deportiva, Coldeportes Antioquia (1.560 m de altura sobre el nivel del mar, 25 °C de temperatura y 65% de humedad relativa).

La evaluación en el cicloergómetro se efectuó en los deportes

que poseen movimientos que no implican el desplazamiento pedestre como: ciclismo de pista, natación, patinaje y polo acuático. En estos deportes se utilizó un cicloergómetro de frenado electromagnético (Jaeger); se aplicó una carga inicial de 50w, con incrementos posteriores de 50w cada tres minutos, hasta el agotamiento.

La evaluación en la banda rodante (Quinton Treadmill, 1845) se realizó en aquellos deportes en que predomina la carrera pedestre. Se evaluaron: atletismo de fondo, lucha olímpica, baloncesto, fútbol y microfútbol. Como protocolo de carga se aplicó el descrito por Kindermann (12). En éste se incrementa la velocidad de la banda en una milla por hora (mph: 1,609 km. h⁻¹) cada tres minutos hasta el agotamiento, a partir de una velocidad inicial de 4.5 mph y una pendiente positiva de 1%.

El VO₂max se determinó utilizando un espirómetro de circuito abierto (Ergooxiscreen Jaeger), calibrado previamente mediante mezclas estandarizadas de aire (Aga-Fano). Concomitantemente, se realizó el monitoreo electrocardiográfico continuo mediante un visoscopio (Hellige) conectado en la derivación CM-5(5).

La PWCmax se calculó, para la banda rodante, como la relación entre la velocidad máxima de carrera alcanzada y el peso corporal. La PWCmax para el cicloergómetro se calculó mediante la relación entre la potencia máxima desarrollada y el peso corporal del individuo (1,2).

La PWC₁₇₀ se calculó utilizando la ecuación propuesta por Rost y Hollmann (13). Las unidades

Deporte	N	Edad (años)	Peso (kg)	Estatura (cm)
Atletismo fondo AF	130	22.4±4.5	58.5±4.8	170.4±6.0
Lucha olímpica LO	157	19.2±3.8	64.6±15.2	168.2±10.3
Baloncesto BC	106	18.2±1.2	72.8±8.5	183.5±6.0*
Fútbol FB	160	20.2±4.5	67.6±6.7	173.5±5.8
Microfútbol MF	60	18.5±1.6	61.6±5.8	169.0±6.2

*=P<0.01

Tabla 1. Características físicas de los deportistas evaluados en la banda rodante.

Deporte	N	Edad (años)	Peso (kg)	Estatura (cm)
Ciclismo pista CP	40	18.5±1.8	60.4±5.7	171.0±3.5
Natación N	25	18.2±4.3	62.4±11.6	170.2±10.8
Patinaje P	40	20.1±4.2	63.5±9.2	170.2±7.3
Polo acuático PA	135	19.2±4.3	68.1±9.8	174.3±8.9

Tabla 2. Características físicas de los deportistas evaluados en el cicloergómetro.

Deporte	N	VO ₂ max (ml/kg/mín)	PWCmax (m/s kg)	PWC ₁₇₀ (m/s kg)	PWC ₁₇₀ /PWCmax (%)
AF	130	70.4±8.9	0.085±0.012	0.066±0.013	77.6±4.5
LO	157	57.9±7.3*	0.063±0.015*	0.049±0.012*	77.7±1.6
BC	106	57.1±8.9*	0.056±0.007*	0.041±0.007*	73.2±2.9
FB	160	59.9±7.7*	0.063±0.019*	0.051±0.011*	80.9±4.3
MF	60	56.1±6.1*	0.073±0.062*	0.054±0.019*	73.9±3.8

*: p<0.01

Tabla 3. Resultados de las variables funcionales evaluadas en la banda rodante.

de medida son similares a las utilizadas para la PWCmax.

Se estableció la relación PWC₁₇₀/PWCmax como un indicador de la eficiencia en la utilización de la capacidad aeróbica en cada uno de los deportes evaluados. Los resultados grupales se describen como valores promedio con su respectiva desviación estándar. El nivel de significancia estadística, mediante la prueba t de Student, se estableció utilizando el paquete EPIINFO 2.

Resultados

Los valores promedio de edad, peso y talla del grupo estudiado, de acuerdo con el ergómetro uti-

lizado, se muestran en las Tablas 1 y 2. Vale la pena destacar la estatura promedio más alta en el baloncesto.

Las Tablas 3 y 4 muestran los resultados del VO₂max, de la PWCmax, de la PWC₁₇₀ y de la relación porcentual PWC₁₇₀/PWCmax alcanzados por las poblaciones deportivas, de acuerdo con el ergómetro utilizado.

Con respecto al VO₂max determinado en la banda rodante, el valor más alto corresponde al atletismo de fondo. Se presentaron diferencias estadísticamente significativas (p<0.001) entre el atletismo de fondo y la lucha olímpica, el

Deportistas antioqueños de alto rendimiento

Deporte	N	VO ₂ max (ml/kg/min)	PWCmax (m/s kg)	PWC ₁₇₀ (m/s kg)	PWC ₁₇₀ /PWCmax (%)
CP	40	67.7±7.5	5.12±0.61	3.53±0.72*	68.9±6.4*
N	25	56.4±7.0*	4.10±0.52*	3.26±0.54*	79.5±3.0
P	40	59.3±8.1*	4.72±0.60	3.90±0.63	82.6±4.0
PA	135	58.4±9.6*	4.14±0.42*	3.32±0.45*	80.2±3.4

*:p<0.001

Tabla 4. Resultados de las variables funcionales evaluadas en el cicloergómetro.

Referencia	*	1	3	15	16	17	18	19
Deporte								
AF	70.4	83.5	75-80	71.6	66.7	66.9	—	81.0
BL	57.1	59.2	50-55	51.9	—	49.5	—	60.4
CP	67.7	75.2	60-65	75.4	55.6	65.3	—	—
FB	59.9	58.2	50-57	—	49.0	46.2	—	63.9
LO	57.9	53.1	—	—	—	—	64.0	—
N	56.4	—	60-70	62.6	62.6	55.3	—	—
P	59.3	—	—	—	—	56.3	—	60.2

*: estudio actual
Los valores de la referencia 3 están informados como rango

Tabla 5. Comparación de los valores promedio para el VO₂max (ml kg⁻¹ min⁻¹) del presente estudio con estudios similares.

atletismo de fondo y el baloncesto, el atletismo de fondo y el fútbol y el atletismo de fondo y el microfútbol. Los resultados del VO₂max determinados en el cicloergómetro muestran un valor alto para el ciclismo de pista, con diferencias estadísticamente significativas con respecto a las demás disciplinas deportivas (p< 0.001).

Con respecto a los resultados de la PWCmax determinada en la banda rodante, el valor más alto corresponde igualmente al atletismo de fondo. Se encuentran diferencias estadísticamente significativas (p<0.001) entre el atletismo de fondo y lucha olímpica, el atletismo de fondo y el baloncesto, el atletismo de fondo y el fútbol y el atletismo de fondo y el microfútbol. El valor más alto de la PWCmax en el

cicloergómetro lo presenta ciclismo de pista y muestra diferencias estadísticamente significativas (p<0.001) con la natación y el patinaje.

De acuerdo con los resultados de la PWC₁₇₀, para la evaluación en la banda rodante, el valor más alto lo presenta el atletismo de fondo. Se observan diferencias estadísticamente significativas (p<0.001) entre el atletismo de fondo y las siguientes actividades: lucha olímpica, baloncesto, fútbol y microfútbol. La PWC₁₇₀ determinada en el cicloergómetro muestra al patinaje con el mayor valor; se presentan diferencias estadísticamente significativas con el polo acuático, la natación y el ciclismo de pista (p<0.001).

Con respecto a la relación PWC₁₇₀/PWCmax determinada

en la banda rodante, el fútbol presenta el mayor valor porcentual, mientras que baloncesto presenta el valor más bajo. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos deportivos evaluados. Por otra parte, en los deportes evaluados en el cicloergómetro, el patinaje presenta el mayor valor porcentual; sólo hay diferencia estadísticamente significativa entre el patinaje y el ciclismo de pista (p<0.001).

Discusión

De acuerdo con los resultados del presente estudio las determinaciones del VO₂max, de la PWCmax y de la PWC₁₇₀, en banda rodante, son buenos indicadores de la capacidad aeróbica en los deportes pedestres.

Respecto al VO₂max, los resultados muestran un comportamiento acorde con lo esperado (2, 14-19). El VO₂max depende, ante todo, de la especificidad metabólica de la modalidad deportiva; así pues, los valores más altos se registraron en los deportes con una alta producción energética, derivada de los procesos metabólicos aeróbicos oxidativos, como es el caso de atletismo de fondo (1, 3, 5, 6, 19). Los valores más bajos son característicos de aquellos deportes donde la producción de energía depende tanto de procesos aeróbicos como anaeróbicos, como es el caso del microfútbol.

Con respecto a la PWCmax, la cual tiene una relación directa con el VO₂max, los resultados muestran que los deportes con mayor VO₂max también presentan una mayor PWCmax. A pesar de que se ha propuesto su determinación para valorar, de

una manera complementaria, la capacidad física de un individuo (17), son escasos los trabajos que incluyen este parámetro en la valoración funcional de deportistas de alto rendimiento (2).

La PWC_{170} ha sido considerada como un buen indicador del grado de utilización de la capacidad aeróbica. Teóricamente, los valores más altos los presentan los individuos con una mayor eficiencia en la utilización de su potencial aeróbico; es decir, los deportistas que registran, más tarde que otros, una frecuencia cardíaca de 170 ppm habiendo corrido a la misma velocidad. Por lo tanto, ellos realizan un trabajo físico con un menor aporte del metabolismo anaeróbico. Este es el caso del atletismo de fondo, en donde se registró el mayor valor. En cuanto a la relación PWC_{170}/PWC_{max} , indicativa de la utilización de la energía proveniente tanto del metabolismo aeróbico como anaeróbico, no es de sorprender que los resultados registrados en la banda rodante muestren al fútbol con la más alta relación porcentual, dado que es un deporte de régimen metabólico aeróbico-anaeróbico alterno. Lo mismo sucede con el patinaje, el cual presentó el mayor valor porcentual de la relación PWC_{170}/PWC_{max} , en el cicloergómetro.

Con respecto a los resultados del VO_2max , la PWC_{max} y de la PWC_{170} , obtenidos en el cicloergómetro, se debe anotar que aunque se observaron diferencias estadísticamente significativas, éstas no fueron tan homogéneas como las obtenidas en la banda rodante. Al parecer el empleo del cicloergómetro para las determinaciones efectuadas hace difícil la valoración de los resulta-

dos, dado que con su utilización se comprometen frecuentemente masas musculares y se realizan gestos motores diferentes a los empleados comúnmente.

Al comparar los valores promedio del VO_2max presentados por diversos estudios (14-19), se observa que las características funcionales de nuestros deportistas se encuentran en los rangos observados para aquellos de alto rendimiento en el campo internacional (Tabla 5). Así, es pertinente preguntar: ¿Qué sucede con el desempeño competitivo de nuestros deportistas? ¿Se diseñan y controlan adecuadamente los planes de entrenamiento? Los resultados obtenidos en este trabajo brindan una base descriptiva de la capacidad máxima y submáxima de trabajo y el consumo máximo de oxígeno en una población deportiva considerada de alto rendimiento; podrán ser utilizados como referencia para estudios similares. Igualmente se describen, por primera vez en la literatura, las características funcionales de deportes como polo acuático, patinaje y microfútbol.

Summary

Maximum Oxygen Consumption ($max VO_2$), Maximum Physical Work Capacity ($max PWC$) and Physical Work Capacity at 170 beats per minute (PWC_{170}) were determined in 857 top level male athletes from Antioquia (Colombia), by using an ergoespirometrical open circuit system (Ergooxiscreeen Jaeger) at laboratory conditions (1560 meters above sea level, 25°C and 65% relative humidity). By running on motorized treadmill (Quinton treadmill 1.845) according to the protocol described by Kindermann et al

(1980) long distance runners; triathletes; basketball, soccer and indoor players; and wrestlers were evaluated. By cycling on an electrodynamic braked cycle (Jaeger) swimmers, rollerskaters, track cyclists and water polo players were evaluated. The treadmill test is a good ergometer to determine VO_2max , PWC_{max} and PWC_{170} , meanwhile the cycle ergometer has shown low specificity for these parameters specially in water sports. The long distance runners have shown the best result in VO_2max , PWC_{max} and PWC_{170} . On the other hand, swimmers have shown the worst result for all the parameters apparently originated in the low specificity of the ergometer. By comparing with other studies, a similar level of aerobic performance and PWC was found.

Agradecimientos

A la División de Medicina Deportiva de la Junta Seccional de Deportes de Antioquia por el auspicio del presente trabajo. Al Dr. Fernando Montoya M. por la revisión del manuscrito y la asesoría estadística.

Referencias

1. **Hollmann WE, Hettinger T.** Sportsmedizin-arbeits und Trainingsgrundlagen. Stuttgart: F. K. Schauter Verlag; 1980:303-348.
2. **Dal Monte A.** Exercise testing and ergometers. En: Dirix A, Knuttgen HG, Tittel K. The Olympic Book of Sports Medicine. Oxford: Blackwell Scientific Publications; 1988: 121-150.
3. **Astrand PO, Rodahl K.** Fisiología del Trabajo Físico. 3a. ed. Bogotá: Médica Panamericana; 1992: 274- 298.
4. **Dal Monte A, Ordóñez MVM.** Clasificación fisiológica-Biomecánica de la actividad deportiva. Memorias. XII Congreso Panamericano de Educación Física. Guatemala 1989; 151-174.
5. **Heck H, Hollmann W.** Principios de la ergoespirometría. En: RITTEL H. ed. Sistema cardiorrespiratorio y deporte. Convenio Colombo- Alemán de Educación Física, Deporte y Recreación. Cali: Copiservicio; 1980: 18-32.
6. **Saltin B.** Maximal oxygen uptake: limitation and malleability. En: Nazari K, Terjung

Deportistas antioqueños de alto rendimiento

- RL, Kaciuba H, Budohosky L, eds. International Perspectives in Exercise Physiology. Champaign, Ill.: Human Kinetics Books; 1990: 26-39.
7. **Maughan RJ.** Aerobic function. *Sport Sci Rev* 1992; **1**: 28-42.
 8. **Kiupers H, Verstappen FTJ, Keiser HA, et al.** Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med* 1985; **6**: 197-201.
 9. **Nicholas JA.** The value of sports profiling. *Clin Sports Med* 1984; **3**: 3-10.
 10. **Löllgen H.** Quality control and test criteria in ergometry. En: Löllgen H, Mellerowicz H, eds. Progress in Ergometry: Quality Control and Test Criteria in Ergometry. Berlin: Vol II. Springer Verlag; 1984:11-19.
 11. **Noakes T.** Implication of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Med Sci Sports Exerc* 1988; **20**: 319-330.
 12. **Kindermann W, Schramm M, Keul J.** Aerobic performance diagnostics with different experimental settings. *Int Sports Med* 1980; **1**: 110-114.
 13. **Rost R, Hollmann W.** Belastungsuntersuchungen in der Praxis. Stuttgart: Thieme Verlag; 1982:16-35.
 14. **Donoso PH.** El máximo consumo de oxígeno (V_{O_2max}) y su relación con un patrón de referencia (índice funcional aeróbico) en la evaluación de la capacidad física de trabajo. *Arch Soc Chilena Med Dep* 1988; **33**: 12-22.
 15. **González SM, Rubio GS.** Valores ergoespirométricos en deportistas españoles de élite. Revista de Investigación y Documentación sobre las Ciencias de la Educación Física y del Deporte 1990; **14**: 9-55.
 16. **Donoso PH, Quintana G, Rodríguez A, et al.** Algunas características antropométricas y máximo consumo de oxígeno en 368 deportistas chilenos. *Arch Soc Chilena Med Dep* 1980; **25**: 7-17.
 17. **Dragan I.** General physical capacity. In: Dirix A Knuttgen HG, Tittel K, eds. Olympic Book of Sports Medicine. Oxford: Blackwell Scientific Publications; 1988:89-108.
 18. **Fahey TH.** Body composition and V_{O_2max} of exceptional weight-trained athletes. *J Appl Physiol* 1975; **39**: 559-561.
 19. **Jousselin E, Handschuh R, Barrault D, Rieu M.** Maximal aerobic power of french top level competitors. *J Sports Med Phys Fitness* 1984; **24**: 175-182.