

# Perfil funcional de mujeres deportistas de alto rendimiento

Rafael Caldas, Luis Valbuena, Hilda N. Jaramillo

**Objetivos:** establecer el perfil característico del  $\dot{V}O_2\text{max}$ , de la  $\text{PWCmax}$ , de la  $\text{PWC}_{170}$  y del IEA para algunas poblaciones deportivas, de sexo femenino y alto rendimiento, del Departamento de Antioquia, Colombia.

**Método:** el estudio se realizó en 221 mujeres competidoras de atletismo de fondo, judo, baloncesto, triatlón, natación, nado sincronizado y patinaje de carrera. La valoración funcional se efectuó con un sistema espirométrico de circuito abierto y de acuerdo con las características y con el gasto motor del deporte evaluado, con un cicloergómetro de frenado electromagnético o con una banda rodante motorizada. **Resultados:** se presentan los datos del consumo máximo

de oxígeno ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ), capacidad física máxima de trabajo ( $\text{PWCmax}$ ), capacidad física submáxima de trabajo a 170 pulsaciones por minuto ( $\text{PWC}_{170}$ ), Índice de eficiencia aeróbica (IEA), obtenido de la relación  $\text{PWC}_{170}/\text{WCmax}$ . De acuerdo con los resultados del presente estudio, en mujeres, al contrario de lo encontrado en hombres, las determinaciones del  $\dot{V}O_2\text{max}$ , de la  $\text{PWCmax}$  y de la  $\text{PWC}_{170}$ , efectuadas tanto en banda rodante como en cicloergómetro son excelentes indicadores de la capacidad aeróbica.

**Conclusiones:** la presente investigación establece, para la población estudiada, los perfiles ergoespirométricos de algunas variables fisiológicas, con miras a que sirvan como valores de referencia para la selección y la preparación de los diferentes grupos deportivos de alta competencia. Se describe por primera vez las características funcionales, en mujeres, del patinaje de carreras.

## Introducción

Diversos factores fisiológicos, psicológicos y ambientales determinan el rendimiento deportivo.

Su medición permite establecer, para cada modalidad deportiva, un conjunto de valores de referencia comúnmente denominados perfiles; con base en ellos, es posible definir los requisitos que un atleta debe poseer para asegurarle un buen desempeño competitivo para hacer el seguimiento y la valoración de su plan de entrenamiento (1,2).

Para el estudio de las funciones respiratoria, cardiovascular y metabólica que determinan, en gran parte, los factores fisiológicos (3, 4), se utilizan entre otras, las determinaciones del consumo máximo de oxígeno ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ), de la capacidad física máxima de trabajo ( $\text{PWCmax}$ ) y de la capacidad física submáxima de trabajo a 170 pulsaciones por minuto ( $\text{PWC}_{170}$ ); con menos frecuencia se ha utilizado, en nuestro medio, el índice de eficiencia aeróbica (IEA) dado por la relación  $\text{PWC}_{170}$  y  $\text{PWCmax}$ .

El  $\dot{V}O_2\text{max}$  ( $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) es un indicador directo del metabolismo aeróbico oxidativo, durante la realización de un trabajo

Dr. Rafael Caldas Zarate.: Profesor, Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia; Dr. Luis H. Valbuena R.: División de Medicina Deportiva, Indeportes Antioquia; Dra. Hilda N. Jaramillo L.: Profesora, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín.

físico exhaustivo. Esto es, la expresión metabólica de un esfuerzo máximo de duración prolongada. Para su medición directa se utiliza un analizador paramagnético de oxígeno, incorporado a un espirómetro de circuito abierto (5-7).

La PWC<sub>max</sub>, desde el punto de vista mecánico, es la capacidad física máxima para la ejecución de trabajo; desde el punto de vista metabólico, involucra la participación de todas las vías tanto la aeróbica (VO<sub>2</sub>max) como las anaeróbicas (láctica y aláctica). Para su medición se utilizan protocolos de carga creciente y escalonada y de duración prolongada. Se expresa en vatios sobre kilogramo (W.kg<sup>-1</sup>) cuando se mide en cicloergómetro y en m.seg.l.kg<sup>-1</sup> cuando el ejercicio se realiza sobre banda rodante (5).

Durante la realización de un trabajo submáximo (no mayor del 90% del VO<sub>2</sub>max) existe una relación lineal entre la PWC, la frecuencia cardíaca (FC) y el VO<sub>2</sub> (1,3, 8). En individuos menores de 30 años (1, 3, 5) se presenta pérdida de esta relación cuando la FC alcanza valores entre 170 y 180 ppm. En este rango de FC, la capacidad aeróbica oxidativa no alcanza a suplir las demandas energéticas de los músculos en actividad, lo que hace necesario la intervención de otros procesos metabólicos, en especial, el anaeróbico láctico; razón por la cual, en esta zona (1) se ubica el umbral aeróbico-anaeróbico (UAA). En consecuencia, la PWC<sub>170</sub> es otro indicador importante de la eficiencia en la utilización de la capacidad aeróbica del individuo.

Si el VO<sub>2</sub>max es la expresión metabólica de un esfuerzo máxi-

mo, la PWC<sub>max</sub> es la expresión mecánica de este esfuerzo y la PWC<sub>170</sub>, al igual que la anterior, es la expresión mecánica, pero de un esfuerzo submáximo, lo que indirectamente relaciona el esfuerzo mecánico con el UAA. Definida la eficiencia como el gasto energético para el trabajo realizado, la relación PWC<sub>170</sub>/PWC<sub>max</sub> es un indicador de la eficiencia en la utilización del metabolismo aeróbico durante un esfuerzo prolongado. A igual capacidad física máxima de trabajo, es más eficiente, aeróbicamente, aquel individuo cuya PWC<sub>170</sub> esté más próxima a la PWC<sub>max</sub>.

Ahora bien, de acuerdo con las demandas energéticas y las determinantes mecánicas y funcionales de una modalidad deportiva, es posible establecer las características funcionales o perfiles específicos para ella (9), y una vez definidos controlar los planes de entrenamiento deportivo.

### Material y métodos

Se evaluaron 221 mujeres, catalogadas como deportistas de alto rendimiento. En la selección se tuvo en cuenta que estuvieran en la fase precompetitiva o competitiva de su ciclo de entrenamiento y que la evaluación ergoespiométrica cumpliera los criterios establecidos de esfuerzo máximo (10, 11). Todas las participantes dieron su consentimiento por escrito, luego de ser informadas del procedimiento y sus posibles riesgos.

Las evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Fisiología, de la División de Medicina Deportiva, de Indeportes Antioquia (1560 m de altura sobre el nivel del mar, con valores promedio

de 25°C de temperatura y 65% de humedad relativa).

Para la evaluación de las deportistas de natación (N), nado sincronizado (NS) y patinaje de carrera (P) se utilizó un cicloergómetro de frenado electromagnético (Jaeger) y se aplicó el protocolo de Hollmann (5). La evaluación en la banda rodante (Quinton Treadmill, 1845) se realizó en atletismo de fondo (AF), judo (J), baloncesto (BC) y triatlón (TR) y como protocolo de carga se aplicó el descrito por Kindermann (12).

El VO<sub>2</sub>max se determinó con 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 (Heilige) conectado en derivación CM-5. La PWC<sub>max</sub> se calculó, para la banda rodante, como la relación entre la velocidad máxima de carrera alcanzada y el peso corporal. La PWC<sub>max</sub>, para el cicloergómetro, se calculó mediante la relación entre la potencia máxima desarrollada y el peso corporal del individuo.

Para calcular la PWC<sub>170</sub> se empleó la ecuación propuesta por Rost y Hollmann (13). El IEA se calculó con la relación porcentual entre la PWC<sub>170</sub> y la PWC<sub>max</sub> (14).

En el procesamiento de los datos utilizamos el paquete Prisma (GraphPad Prism), se estableció la normalidad y la significancia ( $p < 0,01$ ) mediante un Anova de una vía y una evaluación post-hoc mediante la prueba de Duncan. Los resultados se expresan como valores medios, con su respectiva desviación estándar

Perfil funcional de mujeres deportistas

(SD), y un intervalo de confianza de 95%.

**Resultados**

Los valores promedios de edad, peso y talla del grupo estudiado, de acuerdo con el ergómetro utilizado, se muestran en las Tablas 1 y 2.

Las Tablas 3 y 4 muestran los resultados del VO<sub>2</sub>max,

PWCmax, PWC<sub>170</sub>, y IEA alcanzados, por las poblaciones deportivas, de acuerdo con el ergómetro utilizado.

Con respecto al VO<sub>2</sub>max. determinado en la banda rodante, el valor más alto corresponde a AF. Se presentaron diferencias estadísticamente significativas (p<0.001) entre AF y BC, entre AF y J, entre J y TR, y con una

diferencia de p<0.01 entre BC y TR (Tabla 5). Los resultados del VO<sub>2</sub>max determinados, en cicloergómetro, muestran un valor alto para P, con diferencia estadísticamente significativa (p<0,001) entre P y NS.

Los resultados de la PWCmax, determinada en la banda rodante, muestran que el valor más alto corresponde, igualmente, a AF. Se encuentran diferencias estadísticamente significativas (p<0,001) entre AF y BC, entre BC y TR: finalmente, entre AF y J, y entre J y TR, con una significancia <0,01. El valor más alto de la PWCmax, en el cicloergómetro, lo presenta P y sólo muestra diferencia estadísticamente significativa NS (p<0,001).

De acuerdo con los resultados de la PWC<sub>170</sub>. para la evaluación en banda rodante, el valor más alto lo presenta, nuevamente, AF. Se observan diferencias estadísticamente significativas (p<0,001) entre AF y BC, entre AF y J y entre BC y TR. La PWC<sub>170</sub>, determinada en cicloergómetro, muestra a P con el mayor valor; se presentan diferencias estadísticamente significativas entre P y N (p<0,01) y entre P y NS (p<0,001).

De un lado el IEA, calculado para la banda rodante, se observa que TR presenta el mayor valor porcentual, mientras que J presenta el valor más bajo. Hay diferencia estadísticamente significativa (p<0,01) entre TR y J, entre BC y J y entre AF y J (Tabla 5). De otro lado, en los deportes evaluados en cicloergómetro, P presenta el mayor valor porcentual; no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los deportes evaluados.

Deporte	n	Edad (años)	Peso (kg)	Estatura (cm)
Atletismo fondo AF	25	22,0 ± 3,5	53,7 ± 6,7	159,2 ± 4,4
Baloncesto BC	70	17,6 ± 1,9	59,9 ± 6,6	168,3 ± 6,6
Judo J	10	20,7 ± 3,6	52,3 ± 4,9	159,1 ± 4,8
Triatlón TR	6	26,2 ± 1,7	54,2 ± 4,2	160,6 ± 4,7

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

Deporte	n	Edad (años)	Peso (kg)	Estatura (cm)
Patinaje P	20	18,8 ± 3,9	54,4 ± 3,6	158,8 ± 4,8
Natación N	40	17,3 ± 4,2	53,7 ± 6,7	160,6 ± 5,5
Nado sincronizado NS	50	16,6 ± 2,9	49,7 ± 5,2	159,5 ± 4,0

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

Deporte	n	VO <sub>2</sub> max mL/kg.min	PWCmax m/s.kg	PWC <sub>170</sub> m/s.kg	IEA %
AF	25	58,5 ± 8,1 (55,3 - 61,7)	0,80 ± 0,01 (0,075 - 0,085)	0,065 ± 0,017 (0,058 - 0,072)	76,0 ± 11,6 (71,5 - 80,5)
BC	70	47,5 ± 5,5	0,058 ± 0,010	0,043 ± 0,003	74,5 ± 9,5
J	10	44,1 ± 3,9 (41,7 - 46,5)	0,065 ± 0,007 (0,060 - 0,069)	0,041 ± 0,009 (0,035 - 0,047)	64,1 ± 8,2 (59,02 - 69,2)
TR	6	54,4 ± 5,5 (49,9 - 58,8)	0,078 ± 0,010 (0,069 - 0,086)	0,055 ± 0,013 (0,045 - 0,065)	77,3 ± 6,3 (72,3 - 82,3)

Los resultados se expresan como el valor medio con su respectiva desviación estándar (SD) y el intervalo de confianza del 95%.

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

Deporte	n	VO <sub>2</sub> max mL/kg.min	PWCmax W/kg	PWC <sub>170</sub> W/kg	IEA %
P	20	50,1 ± 9,5 (45,9 - 54,3)	3,95 ± 0,92 (3,55 - 4,35)	3,14 ± 0,62 (2,87 - 3,41)	77,5 ± 11,1 (72,6 - 82,4)
N	40	44,8 ± 7,9 (42,3 - 47,2)	3,52 ± 0,55 (3,35 - 3,69)	2,60 ± 0,61 (2,41 - 2,79)	73,8 ± 14,5 (69,3 - 78,3)
NS	50	43,5 ± 5,2 (42,1 - 44,9)	3,40 ± 0,42 (3,28 - 3,52)	2,63 ± 0,40 (2,52 - 2,74)	77,1 ± 9,3 (74,5 - 79,7)

Los resultados se expresan como el valor medio con su respectiva desviación estándar (SD) y el intervalo de confianza del 95%.

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

### Discusión

De acuerdo con los resultados del presente estudio, el  $\text{VO}_2\text{max}$ , de la  $\text{PWCmax}$  y la  $\text{PWC}_{170}$ , tanto en banda rodante como en cicloergómetro, son buenos indicadores de la capacidad aeróbica en mujeres y para los deportes evaluados.

Con respecto al  $\text{VO}_2\text{max}$  los resultados muestran un comportamiento acorde con lo publicado (2, 15 - 20), los valores más altos se registraron en los deportes en los que predominan los procesos metabólicos aeróbicos, como es el caso de AF y TR (1, 3, 6, 20). Los valores más bajos son característicos de deportes en los cuales la producción de energía depende tanto de procesos aeróbicos como anaeróbicos, como son BC y J (4, 16).

En las disciplinas deportivas con predominio de los procesos metabólicos aeróbicos como AF y TR se observó que, como era de esperar, a mayor capacidad física de trabajo ( $\text{PWC}$ ) mayor consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ). Es importante indicar que en los deportes de régimen aeróbico anaeróbico alterno, como BC y J, se encontró que para un esfuerzo físico mayor, el consumo de oxígeno fue proporcionalmente inferior. En el presente trabajo, los resultados permiten inferir un componente anaeróbico mayor en J que en BC.

De acuerdo con los resultados de la  $\text{PWC}_{170}$ , como un buen indicador de la eficiencia en la utilización del potencial aeróbico, se observa que AF y TR presentaron los valores más altos, el potencial aeróbico entre ellos es similar.

Con respecto a los resultados obtenidos en el cicloergómetro, como era de esperar dadas las

características metabólicas aeróbicas, P presentó los valores más altos de  $\text{VO}_2\text{max}$ , de  $\text{PWCmax}$  y de  $\text{PWC}_{170}$ . Sorprenden los valores bajos encontrados para N y NS al compararlos con los presentados por diversos estudios (15-21). Como valores predictivos ellos obligan a diseñar planes de entrenamiento que mejoren la capacidad aeróbica de sus integrantes, con miras a obtener un mejor desempeño competitivo. Como metodología de trabajo es posible que, en este caso, el cicloergómetro sea inadecuado para las determinaciones efectuadas, dada la escasa similitud con el gesto motor predominante en estos deportes.

Los resultados obtenidos amplían la información disponible, en nuestro medio, sobre la capacidad máxima y submáxima de trabajo, el consumo máximo de oxígeno y el índice de eficiencia aeróbica, de una población deportiva considerada de alto rendimiento; podrán ser utilizados como referencia, para estudios similares, con el objeto de caracterizar nuestra población deportiva. La presente investigación describe por primera vez en la literatura las características funcionales del patinaje femenino de carrera.

### Summary

Objectives: to establish the characteristic profile for Maximal Oxygen Consumption ( $\text{VO}_2\text{max}$ ), Maximal Physical Work Capacity ( $\text{PWCmax}$ ), Physical Work Capacity at 170 bpm ( $\text{PWC}_{170}$ ) and Index of Aerobic Efficiency (IAE) for female top level athletes from the Department of Antioquia (Colombia).

Deporte	BC	J	TR
AF $\text{VO}_2$	0,001	0,001	
PWC max	0,001	0,01	
$\text{PWC}_{170}$	0,001	0,01	
IEA	0,01		
BC $\text{VO}_2$			0,01
PWC max			0,001
$\text{PWC}_{170}$			0,001
IEA	0,01		
J $\text{VO}_2$			
PWC max			0,001
$\text{PWC}_{170}$			
IEA			0,01

Tabla 5. Tabla de significancia encontrada entre los deportes evaluados en banda rodante.

Methods: in this study 221 females were evaluated by using an ergospyrometrical open circuit system (Ergo-Oxyscreen Jaeger) in long distance runners, triathlon runners, basketball players, and judo by running on motorized treadmill (Quinton treadmill 1845) according to the Kindermann protocol; on the other hand, swimmers, synchronized swimmers and wrestlers, were evaluated by cycling on a electrodynamic braked cycle (Jaeger), according to the Hollmann protocol.

Results: the data of  $\text{VO}_2\text{max}$ ,  $\text{PWCmax}$ ,  $\text{PWC}_{170}$  and IAE for a top level athletes group from the Department of Antioquia (Colombia) are presented. According to our study, both ergometer tests, on treadmill and cycle, are better for to determine  $\text{VO}_2\text{max}$ ,  $\text{PWCmax}$  and  $\text{PWC}_{170}$ .

Conclusion: the present investigation establishes for the study population the ergospyrometric profiles of some physiological variable. As reference values they will be helpful in the process of selection and preparation of different top level athletes. The functional characteristic of roller skaters, in women are described for the first time.

## Perfil funcional de mujeres deportistas

### Agradecimientos

A las diferentes ligas, a sus directivos, entrenadores y deportistas, por su colaboración en el desarrollo del presente trabajo.

### Referencias

1. **Holtmann WE, Hettinger T.** Sportsmedizin-arbeits und Trainingsgrundlagen. Stuttgart: FK. Schautter 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 HF, ed. *Sistema Cardiorrespiratorio y Deporte*. Convenio Colombo- Alemán de Educación Física, Deporte y Recreación. Vol 2. Cali: Copiservicio, 1980: 18-32.
6. **Saltin B.** Maximal oxygen uptake: limitation and maleability. En: Nazar K, Teijung RL, Kaciuba H, Budohosky L, eds. *International Perspectives in Exercise Physiology*. Champaign III.: *Human Kinetics Books*, 1990: 26-39.
7. **Maughan RJ.** Aerobic Function. *Sport Science Review* 1992;1: 28-42.
8. **Kiupers H, Verstappen FTJ, Reiser 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. **Lollgen H.** Quality control and test criteria in ergometry. En: Löllgen H, Mellerowicz H. *Progress in Ergometry: Quality Control and Test Criteria in Ergometry*. Berlin: Springer Verlag, 1984; 11: 11-19.
11. **Noakes T.** Implication of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Med Sek Sports Exerc* 1988; 20: 319-330.
12. **Kindermann W, Schramm M, Keul J.** Aerobic performance diagnostics with different experimental settings. *Int J Sports Med* 1980; 1: 110-114.
13. **Rost R, Hollmann W.** *Belastungsuntersuchungen in der Praxis*. Stuttgart: Thieme Verlag, 1982: 16-35.
14. **Caldas R, Valbuena LH, Jaramillo HN.** Características funcionales de deportistas antioqueños de alto rendimiento. *Acta Med Colomb* 1996; 21: 162-167.
15. **Donoso PH.** El máximo consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>max) 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.
16. **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.
17. **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.
18. **Dragan I.** General physical capacity. En: Dirix A, Knuttgen HG, Tittel K. *Olympic Book of Sports Medicine*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1988: 89-108.
19. **Fahey TH.** Body composition and VO<sub>2</sub>max of exceptional weight-trained athletes. *J Appl Physiol* 1975; 39: 559-561.
20. **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.