

Prueba ergométrica indirecta. Metodología para el cálculo óptimo de VO_2 máx. en ciclistas

Cucullo J.M., Terreros J.L., Layus F., Quilez J.

Centro de medicina del deporte de la Diputación General de Aragón

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es comparar el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) medido por método directo, con el obtenido por la aplicación de 5 distintas fórmulas indirectas, calculadas a distintas FC máx.

Se realizaron 75 pruebas de esfuerzo correspondientes a 37 ciclistas utilizando protocolo rectangular progresivo intermitente y máximo en cicloergómetro de frenado mecánico.

Al análisis de los resultados se observa una escasa correlación entre la FC máx. real, y la predicha por distintas ecuaciones para FC máx. teórica. Hay buena correlación entre el VO_2 máx. (1/min.) calculado indirectamente y el VO_2 máx. directo. También existe buena correlación entre VO_2 máx. (1/min) directo y PWC máx.

Palabras clave

Cicloergometría indirecta, ciclismo.

SUMMARY

The purpose of this study is to compare the maximal oxygen uptake (VO_2 max.) measured by direct method, to the obtained by the application of 5 indirect formulae calculated at different heart rate max.

75 work tests in 37 cyclists were carried out using an all-out progressive interrupted protocol in a cycle ergometer with mechanical brake.

The analysis of the results show:

Little correlation between the real HR max. and the different theoretical HR max. There is a good correlation VO_2 max. (1/min.) indirectly measured and the direct VO_2 max. There is also a good correlation between the direct VO_2 max. (1/min) and PWC max.

Key Words

Indirect ergometry, cycling.

RESUME

L'objectif de ce travail est la comparaison de la mesure de la Consommation Maximale d'Oxygène (VO_2 máx.) par méthode directe avec la calculée à l'aide de 5 formules différentes et à différentes FC maximales.

On a réalisé 75 épreuves d'effort sur 37 cyclistes, avec protocole rectangulaire progressif intermitent et maximale, sur cycloergomètre à frein mécanique.

A l'analyse nous constatons une faible corrélation entre FC max. réelle et les différentes FC. max théoriques, et une forte corrélation entre VO_2 max. (1/min) indirecte et VO_2 max. directe, et VO_2 max. et PWC max.

Mots Cle

Ergometrie indirecte, cyclisme.

Introducción

Aunque en los últimos años se está investigando en otros parámetros que evalúen el estado de entrenamiento físico, el consumo máximo de oxígeno (VO_2 max) continúa siendo universalmente aceptado como uno de los mejores índices del rendimiento físico, siendo su cálculo fundamental en los estudios de fisiología deportiva.

No obstante, su determinación por métodos directos implica ciertos condicionantes: alto costo del aparataje, la propia incomodidad de los sistemas de análisis de gases, que unido a la aceptable correlación existentes entre el VO_2 , FC, y el trabajo realizado, hace que no sea totalmente imprescindible su cálculo por métodos directos, máxime si la población a estudiar no forma parte de una categoría deportiva de élite.

Son múltiples las fórmulas propuestas para el cálculo indirecto del VO_2 máx. En este trabajo comparamos el VO_2 máx medido por método directo,

con el obtenido por la aplicación de 5 fórmulas indirectas, determinando cual de ellas presenta mejor correlación y en su caso el diseño de una nueva fórmula.

Material y método

Hemos realizado 75 pruebas de esfuerzo a 37 ciclistas de categorías amateur y pseudoprofesionales en diferentes estados de entrenamiento.

Estos deportistas tienen una media de 19.4 años, 173.4 cm de altura, 65 kg de peso y 59.2 kg de peso magro corporal (Cuadro 1).

n = 75

	EDAD (años)	TALLA (cm)	PESO (kg)	P.M.C. (kg)
\bar{x}	19.4	173.4	65.0	59.2
σ	3.21	5.96	7.39	6.75

Cuadro 1
Media y desviación típica de los valores físicos de la población.

La prueba ergoespirométrica ha sido realizada en cicloergómetro, con análisis cada 30 segundos de gases espirados, mediante un sistema automático de circuito abierto (Ergo-Oxyscreen de la marca Jaeger).

Se utilizó un cicloergómetro Monark modelo 868 de freno mecánico.

Monitorización continua electrocardiográfica utilizando la derivación CM5.

Empleamos un protocolo rectangular progresivo intermitente y previa fase de calentamiento se inicia con una carga alta dado las características especiales del grupo estudiado, al igual que los incrementos posteriores. Cada carga tiene una duración de 3 minutos seguida de un minuto de recuperación que se ha aprovechado para la obtención de datos como tensión arterial, muestra de sangre para determinación de ácido láctico (Figura 1).

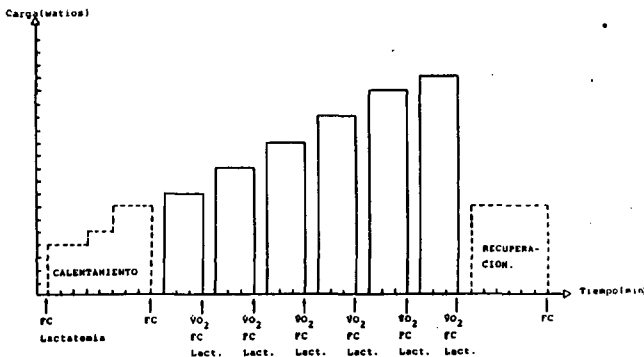


Figura 1
Esquema del protocolo usado.

Todas las pruebas fueron maximales según los siguientes criterios:

- aplanamiento de relación de VO_2 /carga
- FC: 220-edad
- Cociente respiratorio > 1.15 .
- Equivalente respiratorio > 30 .

Para el cálculo teórico de las frecuencias cardiacas máximas se han utilizado las siguientes fórmulas (Cuadro 2):

For. 1	220-edad
For. 2	200-edad
For. 3	198-0.41xedad

Cuadro 2
Fórmulas empleadas para el cálculo de la FC máxima teórica.

- 220-edad.
- 200-edad. (Cifra propugnada por el grupo de Colonia para cicloergómetro).
- 198-0.41 x edad (Cifra propugnada por Sheffield para personas entrenadas).

Para el cálculo indirecto del VO_2 máximo se han empleado las siguientes fórmulas (Cuadro 3):

Fórmula A:	$\frac{11.2 \times W_{\text{máx}}}{\text{Kg}} + 7$
Fórmula B:	$\frac{W_{\text{máx}} \times 0.01433}{4.83 \times 0.23} \times 1000/\text{Kg}$
Fórmula C:	$\frac{200 + (12 \times W_{\text{máx}})}{\text{Kg}}$
Fórmula D:	$\frac{W_{\text{máx}} \times 12.5}{\text{Kg}}$
Fórmula E:	$\frac{\text{PWC}_{170} \times 16.66}{\text{Kg}}$

$$\dot{V}O_2: \text{ml} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

$W_{\text{máx}}$: Carga máxima en wattios.

Cuadro 3
Fórmulas empleadas para el cálculo del VO_2 máx. indirecto.

$$a) \frac{11.2 \times W}{\text{Kg}} + 7 \text{ (Sociedad Española de Cardiología)}$$

$$b) \frac{W \times 0.01433}{4.83 \times 0.23} \times \frac{1000}{\text{Kg}}$$

$$c) \frac{200 + (12 \times W)}{\text{Kg}} \text{ (Balke)}$$

$$d) \frac{W \times 12.5}{Kg}$$

$$e) \frac{PWC170 \times 16.6}{Kg} \text{ (Karman)}$$

Para el tratamiento de los datos y estadístico, que se han elaborado especialmente para este trabajo, se ha utilizado un ordenador PC Inves 640XS, con disco duro de 20 megabytes.

En la comparación entre variables se ha usado el test T para series apareadas al umbral de significación de 0.05, en el cálculo de correlación entre variable se utilizó el método de los mínimos cuadrados.

Resultados y discusión

La media de los datos obtenidos en las pruebas, de consumo máximo de oxígeno, frecuencia cardiaca y carga máxima soportada se refleja en el Cuadro 4. Expresado en litros, la media del consumo máximo de oxígeno ha sido de 4.29, la media de la frecuencia cardiaca máxima ha sido de 194.4 y la carga máxima en vatios ha sido de 309.1.

n = 75					
	$\dot{V}O_2$ máx. (l/m)	$\dot{V}O_2$ máx. (ml/kg/m)	$\dot{V}O_2$ máx. (ml/kg/m)PWC	FC máx. (Latidos/m)	Carga máx. (vatios)
\bar{x}	4.29	65.9	72.38	194.4	309.1
σ	0.664	6.964	7.311	8.28	43.37

Cuadro 4

Valores fisiológicos obtenidos en la prueba de esfuerzo con determinación directa de $\dot{V}O_2$ máx.

Al aplicar las distintas fórmulas para calcular las FC máx. teóricas, hemos encontrado los siguientes resultados (Cuadro 5):

- fórmula 1 (200.6 +/- 3.24)
- fórmula 2 (180.6 +/- 3.24)
- fórmula 3 (190 +/- 1.37)

Siendo la FC máxima real, es decir la máxima frecuencia alcanzada en la prueba, de 194.4 +/- 8.28.

Al comparar la FC máxima real, con las otras tres FC máximas teóricas existen en todas ellas significación estadística ($p < 0.05$) con unos coeficientes de correlación poco aceptables ($R = 35 - 0.36$) sugiriéndonos su poca aplicación en una población de las características de la estudiada, siendo mas recomendable el uso de la FC máxima real para los distintos cálculos.

Posteriormente se compara el $\dot{V}O_2$ máx. (ml/kg/min) medido por método directo y el calcu-

n = 75				
	FC máx. (REAL) (R)	FC máx. (220-edad) (1)	FC máx. (200-edad) (2)	FC máx. (Sheffield) (3)
\bar{x}	194.4	200.6	180.6	190.0
σ	8.28	3.24	3.24	1.37

\bar{x} Diferencias entre FCmáx R-FCmáx teórica	-6.2	13.8	4.4
σ Diferencias entre FCmáx R-FCmáx teórica	7.74	7.73	7.92
t series apareadas 0.05	DS	DS	DS

Cuadro 5

Comparación entre la FC máx. real y las FC máx. teóricas.

lado según las distintas fórmulas ya comentadas. En todas las comparaciones hubo significación estadística ($p < 0.05$), encontrando unos coeficientes de correlación que oscilan entre 0.63 y 0.74, siendo los más altos de este grupo cuando tomamos la PWC según la FC máx. real (Cuadro 6).

	$\dot{V}O_2$ máx. I. Fórmula A	$\dot{V}O_2$ máx. I. Fórmula B	$\dot{V}O_2$ máx. I. Fórmula C	$\dot{V}O_2$ máx. I. Fórmula D
PWC máx. según FC máx 220-edad	0.63	0.63	0.63	0.63
PWC máx. según FC máx 200-edad	0.63	0.63	0.63	0.63
PWC máx. según FC máx Sheffield	0.65	0.65	0.65	0.65
PWC máx. según FC máx. Real	0.74	0.74	0.73	0.74
Carga máxima	0.70	0.70	0.69	0.70

$\dot{V}O_2$ máx. I. Formula E	0.64
-----------------------------------	------

Cuadro 6

Matriz de Coeficientes de correlación entre el $\dot{V}O_2$ máx. Directo en ml.kg⁻¹.m⁻¹, y el cálculo según las distintas fórmulas.

Sin embargo cuando comparamos el $\dot{V}O_2$ máx. (l/min) de forma directa e indirecta, encontramos mejores coeficientes de correlación, siendo los mejores ($R = 0.88 - 0.89$) cuando utilizamos la PWC máx. según la FC máx. real (Cuadro 7).

En la figura 2 representamos en el eje de ordenadas la variable dependiente ($\dot{V}O_2$ máx. directa l/min) y en el eje de abscisas la variable indepen-

diente ($\dot{V}O_2$ máx. indirecta l/m). Hemos trazado la recta de identidad $y = x$ en línea continua gruesa y tres rectas de regresión, siendo la más aceptable dibujada por línea continuada, que representa a la fórmula B, calculada a la FC máx. real, la cual transcurre totalmente paralela a la línea de identidad. En general, todas las rectas son muy similares, no obstante todas ellas infravaloran sus resultados.

	$\dot{V}O_2$ máx. I. Fórmula A	$\dot{V}O_2$ máx. I. Fórmula B	$\dot{V}O_2$ máx. I. Fórmula C	$\dot{V}O_2$ máx. I. Fórmula D
PWC máx según FC máx 220-edad	0.83	0.82	0.82	0.82
PWC máx. según FC máx 200-edad	0.83	0.82	0.82	0.82
PWC máx. según FC máx. Sheffield	0.84	0.84	0.84	0.84
PWC máx. según FC máx. Real	0.89	0.88	0.88	0.88
Carga máxima	0.87	0.87	0.87	0.87

$\dot{V}O_2$ máx. I.
Fórmula E
0.83

Cuadro 7
Matriz de Coeficientes de correlación entre el $\dot{V}O_2$ máx. Directo en litros.minuto⁻¹, y el calculado según las distintas fórmulas.

También hemos efectuado comparaciones entre el $\dot{V}O_2$ máx. directo en (l/m.) y (ml/kg/min) contra las distintas potencias de trabajo tanto la PWC150, PWC170 como las PWC máx. a las distintas FC máx. teóricas y real. En todas ellas se encontró significación estadística ($p > 0.05$). Respecto a los coeficientes de correlación fueron mucho mejores cuando el $\dot{V}O_2$ máx. lo expresamos en l/m respecto a los ml/kg/min. Siendo el mejor coeficiente cuando se comparó con la PWC máx. real ($R = 0.88$) (Cuadro 8).

En la figura 3 representamos la recta de regresión entre el $\dot{V}O_2$ máx. en l/min y la PWC máx. calculada según la FC máx. real, vemos que la nube de puntos se ajusta bastante bien a la recta,

	PWC ₁₇₀	PWC ₁₅₀	PWC máx. (220-edad)	PWC máx. (200-edad)	PWC máx. (Sheffield)	PWC máx. (Real)	Carga máx.
$\dot{V}O_2$ máx. (l/m)	0.83	0.77	0.82	0.82	0.84	0.88	0.87
$\dot{V}O_2$ máx. (ml/kg/m)	0.46	0.45	0.43	0.43	0.45	0.55	0.52

Cuadro 8
Coeficientes de correlación entre el $\dot{V}O_2$ máx. en litros/minuto y en ml/kg/min. y las distintas Potencias de trabajo.

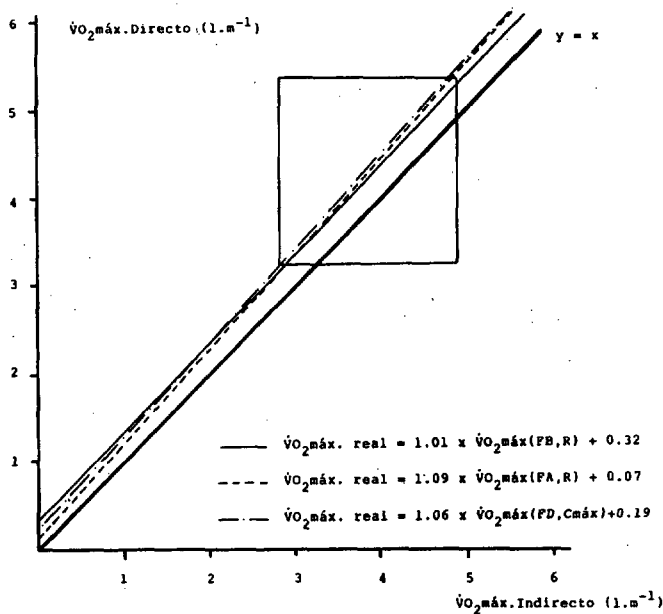


Figura 2
Rectas de regresión entre el $\dot{V}O_2$ máx. directo (l.m⁻¹), y el $\dot{V}O_2$ máx. calculado según diferentes fórmulas.

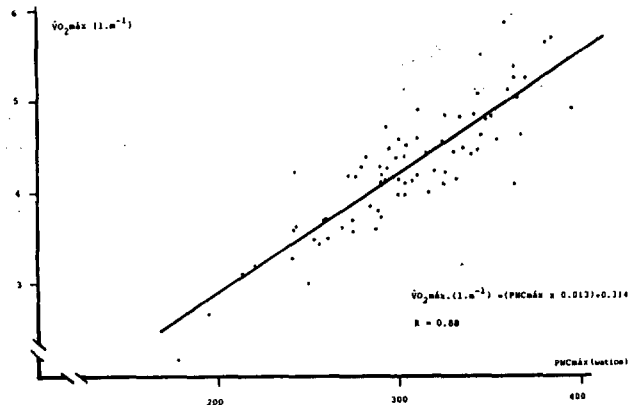


Figura 3
Recta de regresión entre el $\dot{V}O_2$ máx. (l.m⁻¹) y la PWC máx. calculada según la FC máx. Real.

con una $R = 0.88$, lo cual quiere decir que existe una buena correlación. Recomendando la siguiente ecuación $(PWC \text{ máx.} \times 0.013) + 0.314$, como la más idónea para el cálculo de la $\dot{V}O_2$ máx. indirecta, en el tipo de población estudiada.

Nuestra intención es continuar esta línea de trabajo, con otros grupos, ya sea de diferentes especialidades deportivas, como en distintos estadios de entrenamiento e incluso en ausencia de él y ver la influencia de estos factores en la determinación del VO_2 máx. indirecto, como parece ser que existen según otras publicaciones.

Conclusiones

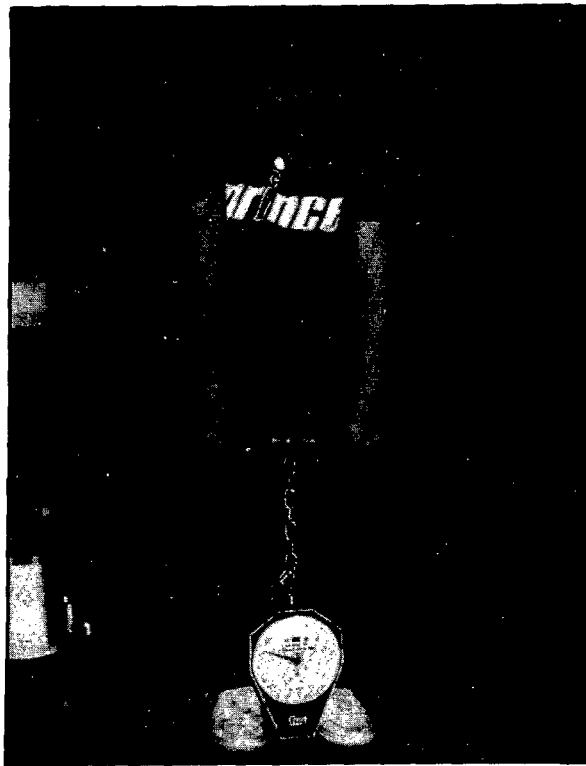
1) Las distintas ecuaciones de cálculo de la FC máx. teórica dan valores significativamente diferentes y con poca correlación con la FC real, siendo por ello de escasa aplicabilidad en una población de estas características.

2) El VO_2 máx. indirecto en l/m calculado con las distintas fórmulas tiene buena correlación con el real ($R=0.82-0.89$), pero infravalora significativamente a los ciclistas en todas ellas.

3) El VO_2 máx. en l/m tiene una excelente correlación con PWC máx. calculada por la FC real según la ecuación $(\text{PWC máx} \times 0.013) + 0.314$, ($R=0.88$) recomendándose para su cálculo.

Bibliografía

- 1 FEVEZ, S.M. SHAPIRO, M. Adaptación cardio-vascular a las pruebas de esfuerzo. Salvat Mexicana. Edit. S.A. de CV. 1981.
- 2 MAGRIÑA, J. COLL, S., NAVARRO-LÓPEZ, F. Actualidad de la prueba de esfuerzo en cardiología. Jano n: 468, pag. 64-74. 1981.
- 3 INFORME DE LA SECCIÓN DE CARDIOPATÍA ISQUÉMICA Y UNIDADES CORONARIAS. Las pruebas de esfuerzo en cardiología. Revista Española de Cardiología. Vol. 38, n:1 pag 1-13. 1985.
- 4 DE BRUYN, P. STURBOIS, X. Applicabilité du nomogramme d'Astrand pour la prediction de la VO_2 max. à différents groupes de sujets. Medicine du sport. Tome 56, n: 3, 65-69. 1982.
- 5 CARVALHO, P. Fisiología deportiva. Edit. Guanabara Koogan S.A. R.J. Brasil. 1978.
- 6 ELLESTAD, H. Prova de esforço. Edit. Cultura Médica. R.J. Brasil. 1984.
- 7 COLTON, T. Estadística en Medicina. Edit. Salvat. 1979.
- 8 MELLEROWICZ. Ergometria. Edit. Médica Panamericana S.A. Buenos Aires. 1984.



Así como hay muchos problemas de comunicación en una conversación normal, malas interpretaciones de lo que se dijo o de lo que no se dijo, así también hay dificultades para evaluar la respuesta subjetiva del paciente al tratamiento. Debido a estas dificultades el fisioterapeuta debe ser de lo más cuidadoso posible en los interrogatorios para determinar cualquier variación en los síntomas del paciente. No se debe dar por sentada ninguna de las sensaciones del paciente acerca de sus dolores. Por ejemplo, si se le pide al paciente que se incline hacia adelante y mientras lo hace exclama ¡huy!, el fisioterapeuta debe preguntar inmediatamente: ¿Le dolió?. Si. ¿Dónde lo sintió?. Puede ser que el paciente se irrite si a lo largo del reconocimiento se le pregunta constantemente: ¿Dónde le dolió?. En esas circunstancias, cuando el paciente hace un gesto de dolor mientras se ensaya el movimiento, el fisioterapeuta puede preguntar: ¿En el mismo lugar?. Esto evita la reiteración. Si el dolor se modifica en su área, él dirá donde se produjo, aún cuando sólo se pregunte. ¿En el mismo lugar?. Esta estrecha comunicación entre el fisioterapeuta y el paciente hace que la evaluación sea informativa y valiosa y que el tratamiento sea más específico y eficaz. (G.D. Maitland)