

Monograph

# Un Protocolo en Bicicleta Ergométrica para Estimar el $VO_2$ máx.

Lars Bo Andersen

*Danish State Institute of Physical Education, Copenhagen, Dinamarca.*

## RESUMEN

El máximo consumo de oxígeno ( $VO_2$  máx.) fue estimado a partir de la producción de potencia máxima (MPO) en un test progresivo en bicicleta ergométrica. Los sujetos fueron 232 varones y 303 mujeres de 15-28 años de edad. La relación entre el  $VO_2$  máx. y la MPO fue:  $VO_2$  máx. ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) =  $0,16 + [0,0117 \cdot \text{MPO (W)}]$ . Se encontró un coeficiente de correlación de  $r=0,88$  entre la MPO y el  $VO_2$  máx. La confiabilidad test-retest fue valorada por medio de dos procedimientos. Las desviaciones estándares de las diferencias test-retest en la MPO y el  $VO_2$  máx. usando el mismo procedimiento estandarizado en 35 sujetos, fueron de 10% y 8% respectivamente, y las correlaciones de Pearson entre los valores test-retest fueron de 0,95 y 0,96, respectivamente. Cuando la MPO de los tests llevados a cabo en las escuelas fue comparada con un test estandarizado realizado por un fisiólogo en 267 sujetos, la correlación de Pearson test-retest fue de 0,82. El modelo de estimación que solo incluye la MPO y que explica el 80% de la variabilidad en el  $VO_2$  máx., es sugerido para ser usado en adolescentes y adultos jóvenes sanos.

**Palabras Clave:** test máximo, potencia aeróbica

## INTRODUCCION

Teniendo en cuenta que las estimaciones inexactas del  $VO_2$  máx. afectan las relaciones con las variables de salud en estudios epidemiológicos, la exactitud de los métodos constituye un aspecto importante. En las últimas cuatro décadas, muchos estudios epidemiológicos han relacionado actividad física con enfermedad o muerte. En los estudios iniciales se ha investigado la relación entre la actividad física relacionada al trabajo y la salud (1), pero luego la valoración de la actividad física mejoró e incluyó duración, frecuencia e intensidad de la actividad física de tiempo libre, para poder acercarse a conclusiones más exactas (2). Además, la relación entre actividad física y salud ha sido estudiada durante los últimos 25 años (3). Una variedad de métodos han sido usados para estimar el nivel de aptitud física, incluyendo tests máximos y submáximos en bicicletas ergométricas (4, 5), tests submáximos y máximos en cinta rodante (6, 7) y parámetros recolectados en reposo, tales como frecuencia cardiaca de reposo (8), volumen espiratorio forzado y capacidad vital forzada (9, 10).

Todas las mediciones indirectas del  $VO_2$  máx. presentan un dado error, pero los valores estimados a partir de tests máximos son más exactos que a partir de los submáximos o a partir de parámetros recolectados en reposo (11). Han sido desarrollados diversos protocolos de ejercicio máximo de alta confiabilidad para estimar el  $VO_2$  máx. En estudios de gran escala, la caminata o carrera en cinta rodante con velocidades o ángulos de inclinación crecientes ha demostrado éxito (7).

La Clínica Cooper ha utilizado tests realizados en cinta rodante regulados por la limitación del síntoma en miles de sujetos de más de 70 años (12-14). Otros estudios epidemiológicos de gran escala en poblaciones mayores y de mediana edad han usado pruebas de ejercicio máximo, tanto en cinta rodante (15) como en bicicleta ergométrica (5, 16, 17). El riesgo relacionado al test máximo es bajo en sujetos saludables, pero podría ser de mayor consideración en otros sujetos. También han sido validados distintos tests de carrera, pero son mayoritariamente usados en niños y en valoraciones de campo (18, 19).

El objetivo del presente estudio fue evaluar un test máximo en bicicleta ergométrica haciendo una comparación con la medición directa del  $\text{VO}_2$  máx. en una muestra grande reclutada en forma aleatoria, de adolescentes y adultos jóvenes. También fue valorada la confiabilidad test-retest de la producción de potencia máxima. Se sugiere el uso del test tanto en un marco de estudios epidemiológicos de poblaciones jóvenes como en educación física escolar.

## MÉTODOS

---

Una muestra aleatoria de niños escolares daneses de 15 a 19 años de edad fue evaluada en 1983 y reevaluada 8 años después. Los tests del mismo individuo en 1983 y 1991 fueron analizados como 2 casos. El estudio comprendió la evaluación de 232 varones y 303 mujeres de 15-18 años de edad. La talla y la masa corporal fueron medidas con una apreciación de 1 cm y 0,1 kg, respectivamente.

### Test en Cicloergómetro

Los tests fueron realizados luego de 20 min de descanso y 8 h de ayuno, a temperatura ambiente. El máximo consumo de oxígeno fue medido usando un cicloergómetro frenado mecánicamente (Monark) con una rueda de 27 kg. La fuerza de frenado fue ejercida por la gravedad de las cargas suspendidas en la banda de frenos. La frecuencia de pedaleo fue establecida en 70 rpm.

El test comenzó con 7 min de entrada en calor con una carga submáxima de 103 W para los hombres y 69 W para las mujeres. Hacia el final de la entrada en calor se midió la frecuencia cardíaca submáxima ( $\text{FC}_{\text{SUB}}$ ) usando un monitor de frecuencia cardíaca (Cardioline o Polar PE 3000). El consumo de oxígeno fue medido durante los últimos 2 minutos del test submáximo.

Luego la carga se incrementó a razón de 35 W cada 2 min hasta que el sujeto llegó al agotamiento. La carga inicial del test máximo fue establecida de manera que se alcanzara el agotamiento dentro de los 5 a 10 min de empezado el test progresivo. La producción de potencia máxima (MPO) fue calculada como la potencia desarrollada antes del último incremento de intensidad, más 35 W por el porcentaje de los 2 min pedaleados durante la última etapa. El consumo de oxígeno fue medido durante los últimos 3-4 min del test progresivo, y el valor más alto en 30 s fue usado como  $\text{VO}_2$  máx.

### Test-retest

Se aplicaron dos procedimientos de test-retest. En el transcurso de un mes, 267 sujetos fueron evaluados dos veces con diferentes evaluadores y diferentes bicicletas ergométricas en el primero y segundo test.

Fueron registradas la  $\text{FC}_{\text{SUB}}$  a una carga de trabajo estándar y la MPO. Los evaluadores del primer test fueron profesores de educación física escolar y en el segundo test, donde se midió además el  $\text{VO}_2$  máx., el evaluador fue un fisiólogo experimentado. Estos tests fueron llevados a cabo para evaluar la confiabilidad real de los tests escolares. En el segundo procedimiento, un fisiólogo evaluó 35 sujetos dos veces usando la misma bicicleta ergométrica y procedimiento estandarizado. El  $\text{VO}_2$  máx. fue medido directamente y fue registrada la  $\text{FC}_{\text{SUB}}$  y la MPO. Los tests fueron realizados con un intervalo de tiempo de 1,5 meses.

### Análisis de Gases

En 1983 el aire espirado fue recolectado en bolsas de Douglas. Los volúmenes fueron medidos con un medidor de gas seco. El medidor de gas fue calibrado a un espirómetro Tissot y el coeficiente de variación fue de 1,5%. El porcentaje de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$  del gas fue determinado usando un analizador Servomex y LB-2 (Beckmann), respectivamente. En 1991, se utilizó un sistema de circuito abierto con un neumotacógrafo Rudolph calibrado con una jeringa (Rudolph) de 3,00 L y el análisis de gases fue hecho con analizadores Medical Graphics de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$ . Los analizadores de gases fueron calibrados con 2 mezclas de gases conocidas antes de cada test. Los métodos usados en 1983 y 1991 fueron comparados en 20 sujetos, y no se encontraron diferencias. Para asegurarse de alcanzar el nivel del máximo de consumo de oxígeno, los sujetos fueron

alentados a continuar tanto tiempo como fuera posible, para que se produjera la nivelación del VO<sub>2</sub> máx. En los pocos casos donde esto no ocurrió, se requirió una estimación de la energía anaeróbica producida de más del 20% de la producción total de energía en el test máximo para que los resultados sean aceptados como valores máximos.

### Análisis Estadísticos

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete SPSS versión 4.0 (SPSS Inc.) Se usó la prueba t pareada para la confiabilidad test-retest, y la correlación de Pearson para describir la solidez de las asociaciones lineales. Para explicar la varianza del VO<sub>2</sub> máx. y calcular un modelo de estimación para el VO<sub>2</sub> máx. a partir de la MPO, se utilizó la regresión múltiple por etapas con el VO<sub>2</sub> máx. como variable dependiente.

## RESULTADOS

Los valores medios y desvío estándar (DS) se presentan en la Tabla 1.

### Estimación del VO<sub>2</sub> máx. en relación a la Edad y el Sexo

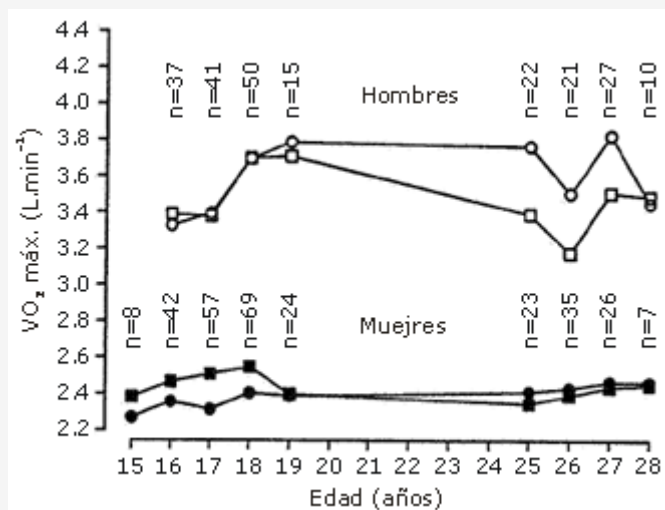
La medición directa del VO<sub>2</sub> máx. y el VO<sub>2</sub> máx. estimado a partir de la MPO en relación a la edad están graficados en la Figura 1. Solo los grupos etáreos de 6 o más sujetos están incluidos en la figura.

En el análisis de la regresión múltiple por etapas con el VO<sub>2</sub> máx. (L.min<sup>-1</sup>) como variable dependiente e incluyendo la MPO, género, peso corporal y edad, se encontró un valor total de r<sup>2</sup> de 0,85. Usando solo la MPO en la regresión se encontró un valor de r<sup>2</sup> de 0,79. Incluyendo peso, sexo y edad en el modelo solo explicó un 3%, 2%, y 1% adicional, respectivamente, de la varianza en el VO<sub>2</sub> máx. (todo con una p<0,001). Debido a que las últimas 3 variables solo explicaron una pequeña fracción de la varianza en el VO<sub>2</sub> máx., para estimar el VO<sub>2</sub> máx. se calculó una ecuación que incluye solo la MPO:

$$\text{VO}_2 \text{ máx. (L.min}^{-1}\text{)} = (0,0117 \cdot \text{MPO}) + 0,16$$

	Varones		Mujeres	
	Media	DS	Media	DS
Edad (años)	20,5	4,4	20,2	4,3
Talla (cm)	179,9	6,7	168,4	6,0
Masa Corporal (kg)	70,9	9,5	60,3	9,0
Índice de masa corporal (kg.m <sup>-2</sup> )	21,9	2,5	21,2	2,6
VO <sub>2</sub> submáximo (L.min <sup>-1</sup> )	1,63	0,18	1,20	0,17
FC <sub>SUB</sub> (lat. min <sup>-1</sup> )	136,0	16,1	143,4	18,0
FC máxima (lat. min <sup>-1</sup> )	195,3	10,7	194,7	9,8
Producción de potencia máxima (Watt)	282,6	43,2	169,9	37,0
VO <sub>2</sub> máx. directo (L.min <sup>-1</sup> )	3,56	0,60	2,38	0,40
VO <sub>2</sub> máx. estimado a partir de la MPO (L.min <sup>-1</sup> )	3,47	0,50	2,46	0,43
VO <sub>2</sub> máx. directo (mL.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> )	50,4	6,9	39,8	5,7

**Tabla 1.** Valores medios y desvío estándar de 232 varones y 303 mujeres.



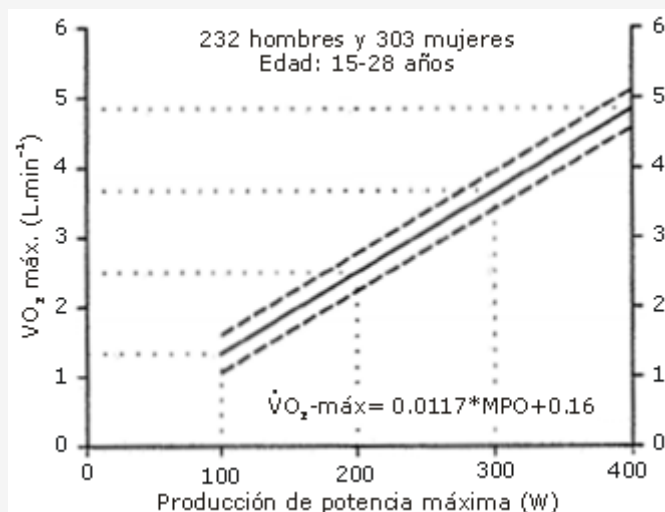
**Figura 1.** VO<sub>2</sub> máx. observado (L.min<sup>-1</sup>) (cuadrados) y VO<sub>2</sub> máx. estimado a partir de la MPO (círculos) en un test máximo en varones (figuras en negro) y mujeres (figuras en blanco).

### Test-retest

Se repitieron los tests de VO<sub>2</sub> máx. y MPO después de 1,5 meses en 35 sujetos. La medición directa del VO<sub>2</sub> máx. disminuyó en 0,10 L.min<sup>-1</sup> (p<0,01), y el DS de la diferencia del test-retest fue de 0,23 L.min<sup>-1</sup> (8%). El valor r del test-retest fue de 0,96. Se encontraron valores similares en la MPO. El DS de la diferencia en la MPO fue de 23 W (delta DS/media=10%), y el valor del r fue de 0,95.

En el otro procedimiento de test-retest de 267 sujetos, donde el primer test fue llevado a cabo por los profesores de escuela secundaria, se encontró un valor r de 0,82 para la MPO. Los fisiólogos midieron una producción de potencia máxima 5% mayor que los profesores. El DS de la diferencia fue de 34 W.

En la parte superior de la figura: 232 hombres y 303 mujeres; (debajo de esto): Edad: 15-28 años; Eje y: VO<sub>2</sub> máx. (L.min<sup>-1</sup>); Eje x: Producción de potencia máxima (W).



**Figura 2.** Relación entre el VO<sub>2</sub> máx. y la PMO en el test máximo. Las 2 líneas punteadas indican ±1 DS de la diferencia en el test-retest.

## DISCUSION

---

El VO<sub>2</sub> máx. fue medido directamente y estimado a partir de la producción de potencia máxima en 232 varones y 303 mujeres de 15-28 años de edad. Se encontró una relación elevada entre la MPO en el test máximo y el VO<sub>2</sub> máx. de medición directa. También se encontraron coeficientes de correlación test-retest muy altos de 0,95 y 0,96, respectivamente.

### Estimación del VO<sub>2</sub> máx.

En estudios epidemiológicos se han realizado diferentes intentos para estimar el VO<sub>2</sub> máx. La elección del método frecuentemente depende del costo, tiempo y equipamiento en relación a la validez y reproductibilidad. Los extremos de la escala son la medición directa del VO<sub>2</sub> máx. que ha sido usada por Salonen y col. (20), y la estimación sin prueba de ejercicio a partir del género, edad, composición corporal y registro de actividad realizado por el sujeto, tal como es sugerido por Jackson y col (11).

En los modelos multivariados de estimación, como el modelo de Jackson, es posible explicar gran parte de la variabilidad del VO<sub>2</sub> máx., pero el modo en que los datos utilizados se relacionan con la salud es una cuestión a debatir. En el presente estudio la MPO fue la única variable incluida en la ecuación. La MPO es una medida de la capacidad del sistema cardiorrespiratorio y estimó el 80% de la variación en el VO<sub>2</sub> máx.

Se realizaron esfuerzos para estandarizar las condiciones del test. Todos los tests fueron realizados después de 8 horas de ayuno y 20 min de descanso y antes del mediodía. Además, se utilizó la misma bicicleta ergométrica en todos los tests. También fue valorada la confiabilidad de los resultados obtenidos en los tests ejecutados en las escuelas. Como se esperaba, la reproductibilidad fue menor en comparación con los tests de condiciones estandarizadas, pero aún bajo estas circunstancias los tests máximos demostraron confiabilidad.

### Tests Máximos en Comparación con Test Submáximos

La seguridad de los tests máximos estará siempre sujetos a debate. Sin embargo, los tests máximos se han realizado en un número de estudios testeando grandes poblaciones (5, 7, 15, 20, 21). En estudios de mortalidad se analiza la relación entre aptitud física y muerte por enfermedad cardiovascular, y se comparan las tasas de mortalidad en grupos con distintos niveles de aptitud física en la condición inicial. La mala clasificación se da debido a los cambios en el nivel de aptitud física desde las mediciones de línea de base o condición inicial y debido a los métodos de medición de la aptitud física.

Por lo tanto, es importante minimizar los errores relacionados con la medición de la aptitud física. En estudios de corte transversal, donde son valoradas las asociaciones entre VO<sub>2</sub> máx. y los factores de riesgo coronario, el VO<sub>2</sub> máx. solo estima un bajo porcentaje de la variación en los factores de riesgo (12, 22), y las relaciones se muestran solamente si los métodos son confiables y la potencia estadística es suficiente.

### Conclusión

Fue evaluado un modelo de estimación a través de un test máximo para el VO<sub>2</sub> máx. en adolescentes y adultos jóvenes. La MPO fue altamente reproductible (r=0,95), y la validez fue también buena (r=0,88). El test máximo en bicicleta ergométrica es considerado una buena alternativa al test máximo en cinta rodante, especialmente fuera del laboratorio y cuando correr puede ser un problema.

## REFERENCIAS

---

1. Morris J. N., Heady J. A., Raffle P. A. B., Roberts C. G., Parks J. W (1953). Coronary heart-disease and physical activity at work. *Lancet* 1053-57
2. Powell K. E., Thompson P. D., Caspersen C. J., Kendrick C. S (1987). Physical activity and the incidence of coronary heart disease. *Annu Rev Public Health* 8: 253-287
3. Eaton C. B (1992). Relation of physical activity and cardiovascular fitness to coronary heart disease. 2. Cardiovascular fitness and the safety and efficacy of physical activity prescription. *J Am Board Fam Pract* 5: 157-165
4. Hein H. O., Suadicani P., Gyntelberg F (1992). Physical fitness or physical activity as a predictor of ischaemic heart disease? A 17-year follow-up in the Copenhagen male study. *J Intern Med* 232: 471-479
5. Slattery M. L., Jacobs D. R (1988). Physical fitness and cardiovascular disease mortality: the US Railroad Study. *Am J Epidemiol*

6. Blair S. N., Kohl H. W., Paffenbarger R. S., Clark D. G., Cooper K. H., Gibbons L. W (1989). Physical Fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women. *JAMA* 262: 2392-2401
7. Kannel W. B., Kannel C., Paffenbarger R. S., Cupples L. A (1987). Heart rate and cardiovascular mortality : the Framingham Study. *Am Heart J* 113: 1489-94
8. Shaper A. G., Wannamethee G (1991). Physical activity and ischaemic heart disease in middle-aged men. *Br Heart J* 66: 384-94
9. Seccareccia F., Menotti A (1992). Physical activity, physical fitness and mortality in a sample of middle aged men followed-up 25 years. *J Sports Phys Fitness* 32: 206-13
10. Jackson A. S., Blair S. N., Mahar M. T., Wier L. T., Ross R. M., Stuteville J. E (1990). Prediction of functional aerobic capacity without exercise testing. *Med Sci Sport Exerc* 22: 863-70
11. Gibbons L. W., Blair S. N., Cooper K. H., Smith M (1983). Association between coronary heart disease risk factors and physical fitness in healthy adult women. *Circulation* 67 (5): 977-83
12. Brill P. A., Kohl H. W., Blair S. N (1992). Anxiety, depression, physical fitness, and all-cause mortality in men. *J Psychiatr Res* 36: 267-73
13. Blair S. N., Kohl H. W., Barlow C. E., Gibbons L. W (1991). Physical fitness an all-cause mortality in hyper-tensive men. *Ann Med* 23: 307-12
14. Ekelund L. G., Haskell W. L., Johnson J. L., Whaley F. S., Criqui M. H., Sheps D. S (1988). Physical fitness as a predictor of cardiovascular mortality in asymptomatic North American men. *N Engl J Med* 319: 1379-84
15. Eriksen J (1986). Physical fitness and coronary heart disease morbidity and mortality. *Acta Med Scand (suppl)* 711: 189-92
16. Maksud M. G., Coutts K. D (1971). Application of the Cooper twelve-minute run-walk test to young males. *Res Q* 42: 54-9
17. Salonen J. T., Salonen R., Korpela H., Suntioinen S., Tuomilehto J (1991). Serum cooper and risk of acute myocardial infarction: a prospective population study in men in eastern Finland. *Am J Epidemiol* 134: 268- 76
18. Sandvik L., Erikssen J., Thaulow E., Erikssen G., Mundal R., Rodahl K (1993). Physical fitness as a predictor of mortality among healthy, middle-aged Norwegian men. *N Engl J Med* 328: 533-7

### **Cita Original**

Andersen L. B. A maximal cycle exercise protocol to predict maximal oxygen uptake. *Scand J. Med. Sci. Sports*; 5: 143-146, 1995.