PubliCE, (PubliCE) 1968

Research

Una Forma de Valorar el Máximo Consumo de Oxígeno. Correlación entre las Evaluaciones de Campo y de Laboratorio

Kenneth H Cooper[1]

[1]*MC, USAF.*

RESUMEN

Ciento quince oficiales y pilotos de sexo masculino de la Fuerza Aérea de Estados Unidos fueron evaluados en un test de rendimiento de campo de 12 minutos y en un test de máximo consumo de oxígeno en cinta rodante. La correlación entre los datos del test de campo con los datos del consumo de oxígeno determinado en el laboratorio fue de 0.897. La significancia de esta relación hace posible estimar con considerable exactitud el máximo consumo de oxígeno solo a partir de los resultados en el test de rendimiento de 12 minutos. Este test se adapta fácilmente a grandes grupos, requiere equipamiento mínimo, y parece ser un mejor indicador de la aptitud cardiovascular que la más comúnmente aceptada carrera de 548.64m (600 yardas). Debido a la alta correlación con el máximo consumo de oxígeno, puede ser asumido que el test de rendimiento de campo de 12 minutos constituye una medición objetiva de la aptitud física reflejando el nivel cardiovascular de un individuo.

Palabras Clave: estimación, fatiga, sistema energético aeróbico, regresión lineal

INTRODUCCION

Cuando se evalúa la aptitud física para la actividad física prolongada, uno debe exponer al sujeto a un trabajo intenso y continuo con el objetivo de evaluarlo de manera exacta. Este procedimiento es requerido principalmente debido a que mientras más fácil es el trabajo, más pequeñas y menos regulares son las diferencias entre los sujetos físicamente aptos y los no aptos (1). Han sido propuestos muchos tests para evaluar la aptitud física, incluyendo el mantenimiento de la respiración (2), evaluaciones en escalón (3-5), en bicicleta ergométrica (6), en cinta rodante (1, 5, 7, 8) y evaluaciones de campo (9, 10). La mayoría de los tests previamente mencionados dependen de la recuperación de la frecuencia cardiaca después del ejercicio intenso como el método para evaluar la aptitud física, aunque pocos monitorizaron el máximo consumo de oxígeno o el rendimiento o ambos. Rasch y Wilson (11) compararon distintos tests de laboratorio de aptitud física con la resistencia militar; dos de estos tests que dependen de la recuperación de la frecuencia cardiaca, un test en cinta rodante (1) y un test en escalón (6), correlacionaron pobremente con una carrera de 3 millas y un test de 3 millas con una mochila; y solo el test de Balke en cinta rodante (7) presentó una marcada correlación con la carrera de 3 millas con o sin mochila. El test de Balke usa la duración del test en minutos y el trabajo hecho en kilográmetros por minuto como criterio de rendimiento físico. Este autor también ha mostrado que el consumo de oxígeno cambia como una función lineal

con el tiempo. Otros autores han concluido que el consumo de oxígeno durante el trabajo agorador no es el mejor indicador fisiológico de la capacidad de un hombre de sostener el trabajo muscular intenso, pero es el método más objetivo por el cual uno puede determinar la aptitud física de un individuo como reflejo de su sistema cardiovascular (5, 8, 12).

El máximo consumo o captación de oxígeno (VO_2máximo) es una medición de laboratorio determinada más frecuentemente durante el trabajo agotador en ya sea en una cinta rodante con motor o una bicicleta ergométrica. Son preferidas las evaluaciones en cinta rodante, debido a que un desarrollo muscular específico y un entrenamiento extensivo son prerrequisitos para alcanzar el máximo rendimiento en una bicicleta ergométrica (12, 13). Una vez determinado, el máximo, el VO_2máximo puede ser expresado en litros por minuto (litro/min), mililitros por kilogramo de masa corporal total por minuto ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$), o mililitros por kilogramo de masa corporal magra por minuto ($ml.kg\ LBM^{-1}.min^{-1}$). Aunque esta última forma es preferida, es técnicamente difícil de realizar y el máximo consumo de oxígeno es usualmente expresado en $ml.kg^{-1}.min^{-1}$. Puesto que la determinación del VO_2máximo en el laboratorio es impráctica para grandes grupos, han sido hechos notables esfuerzos para desarrollar un test de campo de aptitud física que correlacione bien con los tests de laboratorio. Uno de esos intentos ha sido hecho por Balke (9) en donde este autor sugirió el uso de distintos tests de carrera-caminata relacionando el consumo de oxígeno, ya sea a la distancia cubierta en un período de tiempo dado o al tiempo requerido para correr una dada distancia. El propósito de este artículo científico es presentar una modificación del test de campo de Balke de aptitud física y comparar al mismo con una determinación del VO_2máximo en el laboratorio.

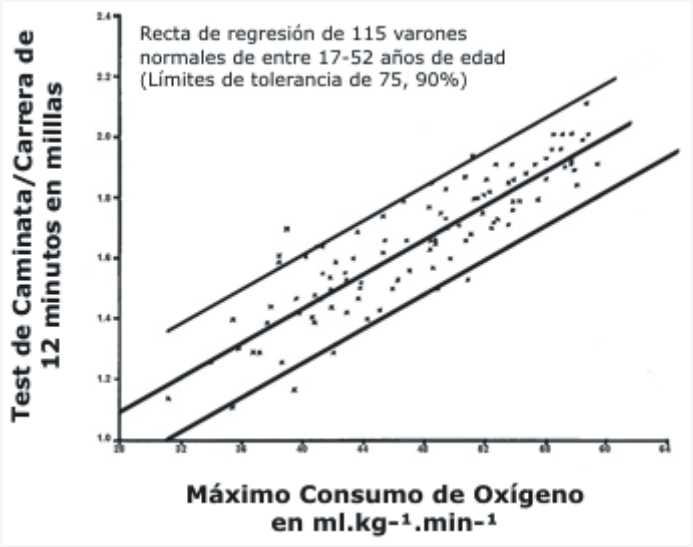

Figura 1. *Correlación entre el máximo consumo de oxígeno y el rendimiento en una carrera-caminata de 12 minutos en hombres normales. Dentro de los límites de tolerancia se puede afirmar con una confianza del 75% que pueden ser encontrados al menos el 95% de los verdaderos consumos de oxígeno.*

METODOS

En este estudio, se les pidió a 115 oficiales y pilotos de sexo masculino de la Fuerza Aérea de Estados Unidos que corrieran en un test de rendimiento de 12 minutos para luego ser sometidos a un test de máximo consumo de oxígeno en cinta rodante. Su edad promedio fue de 22 años (rango, 17 a 52 años), talla promedio de 177.0cm (rango, 162.6 a 196.9cm), y su peso promedio fue de 76kg (rango, 52 a 122kg).

El test de rendimiento de 12 minutos fue realizado primero en todos los sujetos usando un recorrido plano de superficie dura, exactamente medido de 1609m. Los sujetos, vestidos con su ropa apropiada para la carrera, no fueron evaluados en un período anterior a dos horas después de haber ingerido una comida. Cada sujeto corrió el test de 12 minutos al menos dos veces, y los datos de consumo de oxígeno fueron comparados con el test de 12 minutos más cercano; el intervalo entre el test de 12 minutos y la evaluación en cinta rodante no fue mayor a 3 días. Todos los sujetos fueron instruidos para cubrir la mayor distancia posible en 12 minutos, preferiblemente corriendo, pero también caminando cuando fuera necesario para prevenir que se alcanzara un estado de agotamiento excesivo. La temperatura durante el test estuvo entre 12 y 23ºC con

un promedio de 18ºC; la humedad estuvo entre 54 y 93% con un promedio de 75%; y todos los sujetos toleraron el test sin dificultad.

Con el objeto de determinar el máximo consumo de oxígeno, fue diseñado un test en cinta rodante para incorporar el método descrito por Taylor et al. (8) y Mitchell et al. (5). Antes de empezar a correr en la cinta, el sujeto era conectado por medio de una válvula de baja resistencia Hans-Rudolph a un gasómetro Tissot o a una bolsa de Douglas de 200 litros.

Cada test consistió de varias carreras de 3 minutos separadas por períodos de descanso de 10 minutos. Siguiendo los lineamientos de Mitchell et al. (5), el objetivo fue alcanzar un punto en el cual el consumo de oxígeno cesara su incremento o comenzara a disminuir, i.e., un "supermáximo". Este método fue usado para determinar que el verdadero VO_2máximo había sido alcanzado. Los sujetos comenzaron corriendo a 6.436km/h con una inclinación de 4% hasta 9.654km/h con una inclinación de 6% de acuerdo al nivel inicial de aptitud física del sujeto. Después de esta carrera inicial, la velocidad fue incrementada en 0.8045km/h o 1.609km/h y la inclinación fue incrementada en 0.5% o 1%. Se trató de agotar a todos los sujetos con tres o cuatro carreras de 3 minutos. La velocidad máxima para los sujetos bien acondicionados fue de 14.481km/h con una inclinación de 9%. El aire espirado fue recolectado durante cada uno de los dos últimos minutos de las carreras de 3 minutos. Este período de recolección difirió ligeramente de los intervalos de tiempo usados por otros investigadores (1, 5). Todo el aire espirado fue medido por un gasómetro Tissot, corregido con la temperatura y presión estándar, secado y fueron analizadas alícuotas en un analizador paramagnético E-2 de oxígeno y un analizador infrarrojo de dióxido de carbono. Fueron realizados frecuentes chequeos transversales con la técnica de micro-Scholander. El consumo de oxígeno y otros índices respiratorios fueron determinados por métodos estándar. La frecuencia cardiaca durante el ejercicio fue monitoreada por la técnica de Cooper (15), contando los intervalos R-R (intervalo entre las ondas R en el electrocardiograma) durante los 15 segundos finales de cada minuto.

RESULTADOS

Para el propósito de los análisis, la regresión de la distancia en 12 minutos fue graficada versus el consumo de oxígeno (Figura 1) en vez de lo inverso, debido al importante rol de la motivación en la evaluación de campo. El consumo de oxígeno puede ser obtenido de manera exacta en el laboratorio bajo condiciones más cuidadosamente controladas, ya que el mismo es menos afectado por el componente motivacional. El coeficiente de correlación para estos datos es de 0.897, el cual indica una alta correlación significativa, y la ecuación de regresión es: distancia corrida-caminada=$0.3138 + 0.0278O_2$ con un σ^2=0.00985, df=113. A partir de esta recta de regresión, puede ser hecha una buena estimación del máximo consumo de oxígeno en base al rendimiento en 12 minutos (Tabla 1). Como resultado del componente motivacional, los datos muestran más variabilidad a distancias menores de 2252.6m y menor variabilidad a mayores distancias. No obstante, el análisis separado de los datos, excluyendo a los sujetos que no excedieron los 2252.6m en 12 minutos, no alteró apreciablemente la pendiente de la recta de regresión.

Sorprendentemente, la repetición de las evaluaciones tuvo un pequeño, si es que tuvo algún efecto de entrenamiento en el rendimiento de 12 minutos. Varios de los sujetos mejor motivados fueron reevaluados en intervalos de 3 a 4 días, y los resultados fueron altamente comparables.

Bighee y Doolittle (comunicación escrita, Feb 15, 1967) usaron el test de 12 minutos para evaluar a 149 estudiantes varones de escuela secundaria en la Burbank Junior High School, Burbank, Calif. Los estudiantes fueron evaluados dos veces a intervalos de 4 días, y los coeficientes de confiabilidad entre los tests y los retests fueron de 0.976. 9 de estos estudiantes seleccionados al azar fueron también evaluados en la carrera de 548.64m (600 yardas) y el máximo consumo de oxígeno fue luego determinado en una bicicleta ergométrica. Las determinaciones de validez fueron hechas por el uso de la ecuación rho de Spearman que aquí se presenta:

Rango máximo de VO_2 a rango máximo de rendimiento en 12 minutos=0.90; rango máximo de VO_2 a rango de rendimiento en la carrera de 548.64m (600 yardas)=0.62; y rango de rendimiento en la carrera de 548.64m (600 yardas) a rango en el rendimiento en 12 minutos=0.83.

Después de un período de entrenamiento, varios de los 115 sujetos originales fueron reevaluados en los tests de 12 minutos y cinta rodante. Fue aparente que con el entrenamiento los sujetos progresan rápidamente arriba de la recta de regresión, mientras que cuando el ejercicio regular cesaba, el rendimiento disminuía, pero todavía seguía la recta de regresión.

Ya que la mayoría de los sujetos evaluados tenían menos de 25 años de edad. Es difícil predecir la exactitud de este test en un grupo de mayor edad. Sin embargo, indicaciones preliminares señalan que la respuesta de los sujetos de hasta al menos

50 años se relaciona favorablemente con el grupo más joven.

Como resultado de este estudio, han sido establecidos los niveles de aptitud cardiovascular para el test de carrera-caminata de 12 minutos (Tabla 2). Estos niveles constituyen una ligera modificación de las clasificaciones de rendimiento sugeridas por Balke (9, 16).

Distancia (millas)	Vueltas (Pista de ¼ de milla)	Máximo Consumo de Oxígeno ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)
<1.0	<4	<25.0 *
1.000	4	25.0 *
1.030	…	26.0 *
1.065	4 ¼	27.0 *
1.090	…	28.2
1.125	4 ½	29.0
1.150	…	30.2
1.187	4 ¾	31.6
1.220	…	32.8
1.250	5	33.8
1.280	…	34.8
1.317	5 ¼	36.2
1.340	…	37.0
1.375	5 ½	38.2
1.400	…	39.2
1.437	5 ¾	40.4
1.470	…	41.6
1.500	6	42.6
1.530	…	43.8
1.565	6 ¼	45.0
1.590	…	46.0
1.625	6 ½	47.2
1.650	…	48.0
1.687	6 ¾	49.2
1.720	…	50.2
1.750	7	51.6
1.780	…	52.6
1.817	7 ¼	53.8
1.840	…	54.8
1.875	7 ½	56.0
1.900	…	57.0
1.937	7 ¾	58.2
1.970	…	59.2
2.000	8	60.2

***Tabla 1**. Consumo máximo de oxígeno estimado en base al rendimiento en 12 minutos. * Datos insuficientes de esta distancia para hacer comparaciones confiables.*

Distancia (millas)	Máximo Consumo de Oxígeno ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	Nivel de Aptitud Física
<1.0	<25.0	Muy pobre
1.0 a 1.24	25.0 – 33.7	Pobre
1.25 a 1.49	33.8 – 42.5	Regular
1.50 a 1.74	42.6 – 51.5	Bueno
1.75 o más	51.6 o más	Excelente

Tabla 2. *Niveles de aptitud cardiovascular en base al rendimiento en 12 minutos y al máximo consumo de oxígeno.*

COMENTARIO

El reciente énfasis en la aptitud cardiovascular ha permitido el desarrollo de un buen test para medir tal aptitud. El máximo consumo de oxígeno determinado en el laboratorio continúa siendo el mejor indicador de la aptitud cardiovascular. Sin embargo, los requerimientos de gastos, tiempo y personal van a continuar haciendo a este procedimiento prohibitivo para la evaluación de grandes grupos. Este estudio indica que en sujetos jóvenes, bien motivados un test de campo puede proporcionar una buena evaluación del máximo consumo de oxígeno, pero la exactitud de la estimación está directamente relacionada a la motivación de los sujetos. Las ventajas de un test de este tipo son que el mismo usa un tipo de ejercicio muy conocido, i.e., caminar y correr; realizarlo no tiene costo alguno; grandes grupos pueden correr juntos; y no es requerido personal entrenado. El único ítem de equipamiento requerido es una pista medida en forma exacta; un cronómetro, y un silbato o bocina para indicar el final de los 12 minutos. El test ha sido realizado sin problemas en un gran número de sujetos y en varios tipos de condiciones climáticas. Ha sido usado tanto como una indicación de aptitud cardiovascular como un método para monitorear cambios en la aptitud física.

Al Rahe, Department of Biometrics, USAF School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base, Texas, fue responsable de los análisis estadísticos.

REFERENCIAS

1. Johnson R. E., Brouha. L., and Darling R. C (1942). A Test of Psysical Fitness fos Strenuous Exertion. *Rer. Canad Biol 1:491-504*
2. Montoye. H. J (1951). Breath-Holding As Measure of Physical Fitness. *ResQueart 22:356-376*
3. Brouha, L.: Graybiel. A.: and Heath, C. W (1943). Step Test: Simple Method of Measuring Physical Fitness for Hard Muscular Work in Adult Man. *Rev Canad Biol 2:86-91*
4. Kasch,F. W (1965). et al: A Step Test for Inducing Maximal Work. *J assoc Phys Ment Rehab 19:84-86*
5. Mitchell, H.; Sproule. B. J.; Chapman, C. B (1958). The Physiological Meaning of the Maximal Oxygen Intake Test. *J Clin Invest 37:598-547*
6. Astrand. P. O., and Rhyming. I (1954). Nomogram for Calculation of Aerobic Capacity (Physical Fitness). *Pulse Rates During Submaximal work, J Appl Physiol 7:218-221*
7. Balke, B (1952). Correlation of Static and Physical Endurance I. *A Test of Ph.Per. Based on the Card. and Resp. Responses to Gradually In. Work. R.Nº1 P. Nº 21.32-004. R.Air Force Base. Tex:USAF Sc. Of Av. M.*
8. Taylor. H. L., Buskirk, E.: and Henschel, A (1955). Maximal Oxygen Intake As an Objective Measure of Cardio-respiratory Performance. *J Appl Physio l 8:73-80*
9. Balke,B (1963). A Simple Field Test for the Assessment of Physical Fitness. *CART Report 63-18. Oklahoma City: Civil Aeromedical Research Institute, Federal Aviation Agency*
10. Cooper. K. H (1966). Flying Status Insurance. *Aerospace Safety 22:8-10*
11. Rasch, P. J., and Wilson. I.D (1964). The Correlation of Selected Laboratory Tests of Physical Fitness With Military Enurance. *Milit Med 129:256-258*
12. Newton. J.L (1963). The Assesment of Maximal Oxygen Intake. *J Sport Med 3:164-169*
13. Astrand, P.O., and Saltin. B (1961). Maximal Oxygen Uptake and Heart Rate in Various Types of Muscular Activity. *J Appl Physiol 16:977-981*
14. Buskirk, E., and Taylor. H. L (1957). Maximal Oxygen Intake and Its Relation to Body Composition, With Special Reference to

Chronic Physical Activity and Obesity. *J Appl Physiol 11:72-78*
15. Cooper. K. H (1964). A Simple Inexpensive Way to monitor Electrocardiograms on an Acively Exercising Subject, SAM-TDR-64-38. *Brooks Air Force Base,Tex: USAF School of Aerospace Medicine*
16. Balke.B., and Ware. R. W (1959). An Experimental Study of Physical Fitness of Air force Personnel. *US Armed Forces Med J 10:675-688*

Cita Original

Cooper MAJ Kenneth H. A Means of Assessing Maximal Oxygen Intake. Correlation Between Field and Treadmill Testing. The Journal of The American Medical Association; Vol. 203, pp. 201-204, 1968