

Research

# Explicación de la Varianza en el VO<sub>2</sub>máx. en Estudiantes Universitarias Entrenadas y Desentrenadas

Ben Zhou<sup>1</sup><sup>1</sup>Department of Physical Education and Recreation, California State University Dominguez Hills, Carson, CA.

## RESUMEN

Para continuar con nuestro estudio previo en el que investigamos a sujetos varones, en el presente estudio intentamos descubrir las variables que mejor explican la varianza en el VO<sub>2</sub>máx. en estudiantes universitarias, entrenadas y desentrenadas. Diez estudiantes universitarias (desentrenadas=UT) y diez corredoras de fondo de nivel universitario (entrenadas=TR) fueron reclutadas para participar como voluntarias en este estudio. Durante un test de ejercicio con pendiente (GXT) se midieron el VO<sub>2</sub>máx., el Q máx. y la FC máx. No se hallaron diferencias en la FC máx., en la diferencia a-vO<sub>2</sub> máxima y en el peso corporal (Wt), entre los grupos (p>0.05). El grupo TR tuvo los mayores valores para el VO<sub>2</sub>máx. (59.4±4.18 vs. 43.5±3.33ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, p<0.01), el Q máx. (21.1±2.52 vs. 17.7±2.13L/min, p<0.01), y el SV máx. (118.0±13.05 vs. 97.0±11.99ml/latido, p<0.01). Los valores del VO<sub>2</sub>máx. relativo no correlacionaron con el Q máx., el SV máx., la diferencia a-v O<sub>2</sub> máxima, la FC máx. o la masa corporal para el grupo UT (p>0.05), pero si lo hicieron para el grupo TR, la ecuación de regresión múltiple desarrollada fue la siguiente: VO<sub>2</sub>máx.=2.49 + 2.735\*Q máx. - 0.987\*Wt + 0.344\*diferencia a-vO<sub>2</sub> máxima (R=0.998, R<sup>2</sup>=0.996, EEE=0.31, p<0.01). Al comparar las mujeres entrenadas con las desentrenadas se observó que los mayores valores de VO<sub>2</sub>máx. en el grupo TR se debieron a mayores valores en el Q máx. y en el SV máx. Los modelos de regresión indicaron que el Q máx., la diferencia a-vO<sub>2</sub> máxima y el peso corporal fueron las variables críticas que mejor explicaban la varianza en el VO<sub>2</sub>máx. en el grupo TR. De estas tres variables el Q máx. fue la variable más crítica determinante del VO<sub>2</sub>máx. Además, el modelo de regresión que combinó a mujeres entrenadas y desentrenadas mostró que la ecuación de regresión era la siguiente: VO<sub>2</sub>máx.=2.605\*Q máx. - 0.777\*Wt + 0.324\*diferencia a-vO<sub>2</sub> máxima - 3.678 (R=0.998, R<sup>2</sup>=0.995, EEE=0.68, p<0.01). Esto confirmó que el factor central, el Q máx., fue la variable más crítica para determinar el VO<sub>2</sub>máx., el gasto cardíaco máximo (Q máx.) podría jugar un rol dominante en la varianza del VO<sub>2</sub>máx. en mujeres estudiantes universitarias.

**Palabras Clave:** procedimiento de respiración de acetileno, gasto cardíaco, volumen sistólico, modelo de regresión

## INTRODUCCION

El consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>máx.) varía entre individuos de una misma población, tal como corredores entrenados o individuos desentrenados (1, 8, 9, 11, 12, 23). Las variables que pueden ser utilizadas para explicar la varianza en el

VO<sub>2</sub>máx. incluyen, pero no se limitan, al nivel de entrenamiento, la predisposición genética, la masa corporal, la composición corporal, la diferencia arterio-venosa de oxígeno máxima (a- $\bar{v}$  O<sub>2</sub> difmáx.), la frecuencia cardiaca máxima (FCmáx), el gasto cardiaco máximo (Q máx.) y el volumen sistólico máximo (SV máx.) (2, 3, 4, 7, 14, 24, 26). Para continuar con nuestro estudio previo (31) en el cual investigamos a sujeto varones, en el presente estudio intentamos descubrir las variables que mejor explican la varianza en el VO<sub>2</sub>máx. en estudiantes universitarias entrenadas y desentrenadas, y las diferencias sexuales en las variables asociadas a la varianza en el VO<sub>2</sub>máx. Las variables independientes fueron la FC máx., el SV máx., la a- $\bar{v}$ O<sub>2</sub> difmáx., el Q máx. y la masa corporal.

## METODOS

### Sujetos

Diez mujeres estudiantes de educación física (UT) y diez corredoras de fondo de nivel universitario (TR) participaron en este estudio. El estudio fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional de la Brigham Young University y del Hospital LDS (Salt Lake City, Utah). Todos los sujetos firmaron un consentimiento informado por escrito y se les pidió que se familiarizaran con la prueba en cinta y con el procedimiento de respiración de acetileno antes de realizar las evaluaciones.

### Medición del Consumo de Oxígeno (VO<sub>2</sub>)

Todas las variables fueron valoradas durante un test de ejercicio con pendiente (GXT) como ha sido previamente descrito (30). El VO<sub>2</sub> fue evaluado utilizando un sistema estándar en circuito abierto en el cual los volúmenes espirados fueron medidos por medio de un neumotacómetro Fleish (Hans Rudolph, Model 3813, Kansas City, MO) y las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono fueron cuantificadas por medio de un analizador de gases (Marquette 1100 Mass Spectrometer). Los datos proporcionados por el neumotacómetro y por el espectrómetro de masas fueron transferidos a una computadora. El VO<sub>2</sub> fue calculado por medio de un programa desarrollado por Consensus Technologies (Salt Lake City, UT). Se consideró que se había alcanzado el máximo consumo de oxígeno cuando se cumplían dos de los siguientes criterios: una nivelación del VO<sub>2</sub> con el incremento en la tasa de trabajo, una frecuencia cardíaca mayor al 90% del valor máximo estimado a partir de la edad (220-edad), y un índice de intercambio respiratorio (RER) mayor a 1.10 (4, 13).

### Medición del Gasto Cardíaco (Q), Volumen Latido (SV) y Frecuencia Cardíaca (FC)

El Q fue medido utilizando el método de respiración de acetileno iniciado por Triebwasser et al. (28) y desarrollado como un sistema de respiración computarizado por Jensen et al. (15). Se realizó una modificación del equipamiento y de la técnica de manera que tanto el Q como el VO<sub>2</sub> pudieran ser calculados durante el GXT (10). Un interruptor neumático mantuvo el sistema de bolsas cerrado durante los primeros dos minutos de cada etapa del test progresivo de ejercicio para permitir de esta manera que los sujetos respiraran el aire del cuarto. Después de pasados los dos minutos en cada etapa, se les instruyó a los sujetos para que abrieran la válvula neumática, al final de la espiración y entonces comenzaron a respirar a través de una bolsa pre-llenada con una mezcla de gases. La mezcla de gas contenida en la bolsa tenía 1% de acetileno, 9.18% de helio, 40% de oxígeno, y 48.82% de nitrógeno. Esta mezcla fue respirada durante ocho ciclos completos de inspiración-espiración en reposo y seis ciclos respiratorios durante cada etapa del test de ejercicio (30). El Q fue medido en reposo y durante los últimos 30 segundos de cada etapa del GXT.

Los cambios en la concentración de acetileno y de helio durante la respiración fueron medidos por un espectrómetro de masas y digitalizados por medio de una computadora a 100Hz para el almacenamiento y procesamiento de los datos. Característicamente, la concentración de helio no cambia después de la segunda respiración, pero la concentración de acetileno continua descendiendo luego de cada espiración secuencial debido a la absorción de acetileno por la sangre capilar. De esta manera, durante el procedimiento de respiración, el Q fue calculado a partir de la tasa exponencial de desaparición de acetileno en relación al helio. La pendiente de la curva de concentración de acetileno en relación a la curva de concentración de helio es proporcional a la tasa de flujo sanguíneo a través de los pulmones o el Q. El flujo sanguíneo, a su vez depende de la tasa de trabajo, por lo tanto cuanto mayor fuera la pendiente de la curva de [C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>], mayor sería el Q, calculado por medio de las ecuaciones utilizadas por Cander y Foster (5). Esta técnica es altamente reproducible para la determinación del gasto cardiaco (29). El coeficiente de variación estimado para esta técnica fue de 6.8% (15). Los coeficientes de correlación test-retest para los valores de reposo y máximos fueron 0.99 y 0.93, respectivamente (30).

Para registrar la frecuencia cardiaca tanto durante el reposo como durante cada etapa del ejercicio en donde se midió el Q, se utilizó un monitor electrónico de frecuencia cardiaca. El volumen sistólico de cada sujeto tanto en reposo como durante

cada etapa del GTX se obtuvo mediante la siguiente ecuación:  $SV=Q/FC$  (16, 19, 20).

La diferencia máxima en el contenido arterio-venoso de oxígeno (a-vO<sub>2</sub> difmáx.) se calculó en base a la ecuación de Fick, donde  $VO_2\text{máx.}=(FC\text{ máx.}\cdot SV\text{ máx.})\cdot a\text{-vO}_2\text{ difmáx.}$  (16).

### Análisis Estadísticos

Para examinar las diferencias en edad, masa corporal, FC máx., VO<sub>2</sub>máx., Q máx., SV máx. y a-vO<sub>2</sub> difmáx. entre los dos grupos se utilizó el análisis de varianza ANOVA. Se empleó el método de correlaciones parciales incluyendo la masa corporal, la FC máx., el Q máx., el SV máx. y la a-vO<sub>2</sub> difmáx. Si los coeficientes de correlación lineal alcanzaban un nivel significativo, se utilizaba la regresión lineal por pasos para producir un modelo de la regresión (25). La probabilidad del índice F para ingresar o quitar una variable del modelo de regresión se estableció a  $p\leq 0.05$  y  $\geq 0.10$  respectivamente. La independencia de las variables de predicción se estimó por medio de Estadística de Colinearidad incluyendo la tolerancia estadística y el factor de inflación de la varianza. La significancia estadística se estableció a  $p<0.05$  (27).

## RESULTADOS

No se hallaron diferencias en la frecuencia cardiaca máxima (FC máx.), en la diferencia arterio-venosa de oxígeno máxima (a-vO<sub>2</sub> difmáx.), y en la masa corporal (Wt) entre los grupos ( $p>0.05$ ). El grupo RT tuvo un mayor VO<sub>2</sub>máx. ( $p<0.01$ ), un mayor gasto cardiaco máximo (Q máx.) ( $p<0.01$ ) y un mayor volumen sistólico máximo ( $p<0.01$ ), pero una edad más baja ( $p<0.01$ ) que el grupo UT (Tabla 1).

Variabes	Estudiantes	Corredoras
Edad (años)	22.6±1.58	19.9±1.79 **
Masa Corporal (kg)	62.8±10.87	56.8±4.38
VO <sub>2</sub> max. (L/min)	2.73±0.40	3.38±0.42 **
VO <sub>2</sub> max. (ml/kg/min)	43.5±3.33	59.4±4.18 **
Q max. (L/min)	17.7±2.13	21.1±2.52 **
SV max. (ml/latido)	97.0±11.99	118.0±13.05 **
a-vO <sub>2</sub> difmáx. (ml/L)	153.7±12.45	160.6±11.19
FC max. (latidos/min)	188.2±4.76	187.0±6.51

**Tabla 1.** Comparación de las distintas características entre las estudiantes universitarias y las corredoras de fondo. Los valores son medias±DE. N=20, \*\*p<0.01.

Los coeficientes de correlación indicaron que el Q máx., el SV máx., la FC máx., y la a-vO<sub>2</sub> difmáx., no correlacionaron con el VO<sub>2</sub>máx. relativo en el grupo UT ( $p>0.05$ ), excepto la masa corporal que estuvo negativamente correlacionada al VO<sub>2</sub>máx. ( $p<0.05$ ). Mientras que el Q máx. y el SV máx. correlacionaron positivamente con el VO<sub>2</sub>máx. relativo en el grupo TR ( $p<0.05$ ) (Tabla 2).

Variables	Estudiantes	Corredoras
VO <sub>2</sub> máx. (ml/kg/min) Q máx. (L/min)	-0.312	0.659*
VO <sub>2</sub> máx. (ml/kg/min) a-vO <sub>2</sub> difmáx. (ml/L)	0.136	0.382
VO <sub>2</sub> máx. (ml/kg/min) FC máx. (latidos/min)	0.165	-0.247
VO <sub>2</sub> máx. (ml/kg/min) SV máx. (ml/latido)	-0.394	0.546*
VO <sub>2</sub> máx. (ml/kg/min) Masa Corporal (kg)	-0.573*	0.429

**Tabla 2.** Correlaciones entre el consumo máximo de oxígeno y las variables relacionadas en las estudiantes universitarias y en las corredoras de fondo.  $r$ =coeficiente de correlación;  $n=20$ , \*  $p<0.05$ .

Los análisis adicionales utilizando la regresión lineal por pasos produjeron un modelo para el grupo TR, en el cual el  $VO_2$ máx. =  $2.49 + 2.735 \cdot Q \text{ máx.} - 0.987 \cdot Wt + 0.344 \cdot a\text{-}vO_2 \text{ difmáx.}$  ( $R=0.998$ ,  $R^2=0.996$ ,  $EEE=0.31$ ,  $p<0.01$ ). El modelo indicó que las variables que mejor explicaban la varianza en el  $VO_2$ máx. para el grupo TR fueron el Q máx., la masa corporal y la a-vO<sub>2</sub> difmáx. La variable que mejor predijo el  $VO_2$ máx. fue el Q máx. Con respecto a la fortaleza del modelo, se realizó un análisis adicional tanto con los sujetos del grupo TR como con los sujetos del grupo UT. El análisis con una muestra más grande produjo un modelo similar en el cual el  $VO_2$ máx. =  $2.605 \cdot Q \text{ máx.} - 0.777 \cdot Wt. + 0.324 \cdot a\text{-}vO_2 \text{ difmáx.} - 3.678$  ( $R=0.998$ ,  $R^2=0.995$ ,  $EEE=0.68$ ,  $p<0.01$ ). Esto confirmó que el factor central, el Q máx., era la variable que mejor explicaba la varianza en el  $VO_2$ máx. en comparación con los factores periféricos, el peso corporal y la a-vO<sub>2</sub> difmáx., tanto para estudiantes universitarias entrenadas como desentrenadas.

## DISCUSION

Al comparar estudiantes mujeres entrenadas y desentrenadas, en nuestro estudio se obtuvieron resultados similares a los observados previamente (1, 4, 8, 9, 23, 24, 30, 31), lo cual sugiere que los factores centrales fueron críticos en respuesta a las diferencias en el  $VO_2$ máx. El mayor valor de  $VO_2$ máx. en el grupo TR se debió a mayores valores en el Q máx. y en el SV máx., pero no a la a-vO<sub>2</sub> difmáx. (2, 3).

El modelo realizado con los datos del grupo TR mostró que las variables que mejor explicaban la varianza en el  $VO_2$ máx. en mujeres entrenadas universitarias fueron el Q máx., la a-vO<sub>2</sub> difmáx., y la masa corporal. De estas tres variables, el Q máx. fue la variable crítica de acuerdo al peso de las variables. Esto podría sugerir que el factor central relacionado a la capacidad de transportar O<sub>2</sub> puede tener un rol predominante en la varianza en el  $VO_2$ máx. en mujeres entrenadas (1, 2, 3, 4, 8, 9). Cuando comparamos los resultados de este estudio con los resultados de nuestro estudio previo, fue interesante hallar que había una diferencia sexual en la variable más crítica para explicar la varianza en el  $VO_2$ máx. En el estudio previo, hallamos que la a-vO<sub>2</sub> difmáx. fue la variable más crítica para determinar el  $VO_2$ máx., lo cual sugirió que la utilización muscular de O<sub>2</sub> podría tener un rol dominante en la determinación del  $VO_2$ máx. en hombres entrenados (6, 17, 18, 21, 22, 31).

A partir de los resultados de nuestro estudio, no puede aclararse si estas diferencias sexuales se deben al nivel de entrenamiento, a la composición corporal, a la genética o a una combinación de factores. El presente estudio fue transversal y tuvo una limitación, no pudimos cuantificar las diferencias en el entrenamiento y en la composición corporal. Sin tener en cuenta si las diferencias se debieron a la genética, al entrenamiento o a la composición corporal, en el presente estudio no fueron aparentes los mecanismos responsables para la diferencia sexual en la variable más crítica que explica la varianza en el  $VO_2$ máx. para mujeres u hombres entrenados.

De manera similar al estudio previo, en el presente estudio los análisis de regresión lineal fueron llevados a cabo tanto con el grupo de sujetos TR como con el grupo de sujetos UT, en lo que respecta a la predicción de la fortaleza del modelo. Los análisis produjeron otro modelo similar que confirmó que el Q máx., la masa corporal, y la a-vO<sub>2</sub> difmáx. fueron las variables que mejor explicaban la varianza en el  $VO_2$ máx., y que el Q máx. fue la variable más crítica. Este análisis sugirió que se necesitan más sujetos por variable independiente cuando se realiza un enfoque de regresión múltiple. Nuestros

resultados garantizan que se necesitan más investigaciones para entender los factores en respuesta a la varianza del  $\text{VO}_2\text{máx.}$  en individuos que difieren en sexo, entrenamiento y nivel de aptitud de resistencia.

En conclusión, los hallazgos del presente estudio sugieren que el Q máx., la masa corporal y la  $a\text{-VO}_2$  difmáx., fueron las variables que mejor explicaban las varianzas en el  $\text{VO}_2\text{máx.}$  en estudiantes universitarias entrenadas y desentrenadas. De las tres variables el Q máx. fue la variable más crítica para determinar el  $\text{VO}_2\text{máx.}$ , el cual puede tener un rol determinante en la varianza del  $\text{VO}_2\text{máx.}$  en estudiantes universitarias.

### Dirección para el Envío de Correspondencia

Ben Zhou, Department of Physical Education and Recreation, California State University Dominguez Hills, 1000 E Victoria Street, Carson, CA 90747, Tel: (310) 243-2223, Fax: (310) 217-6946, correo electrónico: bzhou@csudh.edu

## REFERENCIAS

1. Bassett, D. R., and E. T. Howley (2000). Limiting factors for maximal oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*;32 70-84
2. Blomqvist, C. G. and B. Saltin (1983). Cardiovascular adaptations to physical training. *Annu Rev Physiol*:45: 169-189
3. Cander, L., and R. E. Forster (1959). Determination of pulmonary parenchymal tissue volume and pulmonary capillary blood flow in man. *J. Appl. Physiol.* 14:541-551
4. Cardus, J., R.M. Marrades, J. Roca, J.A. Barbera, O. Diaz, J.R. Masclans, R. Rodriguez-Roisin, and P.D. Wagner (1998). Effects of  $\text{FIO}_2$  on leg  $\text{O}_2$  during cycle ergometry in sedentary subjects. *Med Sci Sports Exerc* 30:697-703
5. Coyle, E. F. and J. O. Holloszy (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. In: *Exercise and Sport Sciences Reviews*. J. O. Holloszy (Ed.). Baltimore, MD: Williams & Wilkins, pp. 25-63
6. Ekblom, B (1969). Effect of physical training on oxygen transport system in man. *Acta Physiol Scandinavica* 328 (Suppl): 1-45
7. Ekblom, B. and L. Hermansen (1968). Cardiac output in athletes. *J Appl Physiol* 25:619-625
8. Gledhill, N., D. Cox, and R. Jamnik (1994). Endurance athletes stroke volume does not plateau: Major advantage is diastolic function. *Med Sci Sports Exerc* 26:1116-1121
9. Hill, A. V., C. N. H. Long, and H. Lupton (1924). Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen: Parts VII-VIII. *Proc Roy Soc B*97:155-176
10. Hill, A. V. and H. Lupton (1923). Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. *Q J Med* ; 16:135-171
11. Hodgson, J. L. and E. R. Buskirk (1977). Physical fitness and age, with emphasis on cardiovascular function in the elderly. *J Am Geriatr Soc* 25:385-392
12. Holloszy, J. O. and E. F. Coyle (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol* 56:831-838
13. Jensen, R. L., R. O. Crapo, J. D. Mason, and F. G. Yanowitz (1990). Small-sample reproducibility estimates: an example using rebreathing measurements. *J Appl Physiol* 68:1717-1721
14. Powers, S.K. and E.T. Howley (2004). Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance (5th Ed.). McGraw Hill
15. Richardson, R. S. and B. Saltin (1998). Human muscle blood flow and metabolism studied in the isolated quadriceps muscles. *Med Sci Sports Exerc* 30:28-33
16. Robinson, D. M., R. W. Ogilvie, P. C. Tullson, and R. L. Terjung (1994). Increased peak oxygen consumption of trained muscle requires increased electron flux capacity. *J Appl Physiol* 77:1941-1952
17. Rowell, L. B (1986). Human Circulation-Regulation during Physical Stress. New York: Oxford University Press
18. Rowell, L. B. and J. T. Shepherd (1996). Handbook of Physiology Section 12. New York, Oxford University Press
19. Russell T. Hepple (2000). Skeletal muscle: microcirculatory adaptation to metabolic demand. *Med Sci Sports Exerc* 32:117-123
20. Russell S. Richardson, H.A. Craig, G. Bruno, and H.T. Russell (2000). Skeletal muscle: master or slave of the cardiovascular system?. *Med Sci Sports Exerc* 32:89-93
21. Saltin, B (1969). Physiological effects of physical conditioning. *Med Sci Sports Exerc* 1:50-56
22. Saltin, B. and S. Strange (1992). Maximal oxygen uptake: old and new arguments for a cardiovascular limitation. *Med Sci Sports Exerc* 24:30-37
23. Shannon, D. M., & Davenport, M. A (2001). Using SPSS to solve statistical problems: A self-instruction guide. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey
24. Spina, R.J., T. Ogawa, W. H. Martin III, A. R. Coggan, J. O. Holloszy, and A. A. Ehsani (1992). Exercise training prevents decline in stroke volume during exercise in young healthy subjects. *J Appl Physiol* 72:2458-2462
25. Thomas, J. R. and J. K. Nelson (1990). Research Methods in Physical Education. Human Kinetics Books, Second edition 107-128
26. Triebwasser, J. H., R. L. Johnson, JR., R. P. Burpo, J. C. Campbell, W. C. Reardon, and C. G. Blomqvist (1977). Noninvasive determination of cardiac output by a modified acetylene rebreathing procedure utilizing Mass Spectrometer measurements. *Aviat. Space Environ Med* 48:203-209

27. Warburton, D. E. R., N. Gledhill, and V. K. Jamnik (1998). Reproducibility of the acetylene rebreath technique for determining cardiac output. *Med Sci Sports Exerc* 30:952-957
28. Zhou, B., R. K. Conlee, R. Jensen, G. W. Fellingham, J. D. George, and A. G. Fisher (2001). Stroke volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 33:1849-1854
29. Zhou, B., M.P. Ernst, and Y.T. Wang (2004). Explanation of variance in  $\dot{V}O_{2\max}$  for trained and untrained male subjects. *JEPonline*, Volume 7. Number 2 April

### **Cita Original**

Zhou B. Explanation of Variance in  $\dot{V}O_{2\max}$  for Trained and Untrained Female College Students. *JEPonline*; 69-74, 2004.