PubliCE, (PubliCE) 2004

Research

Efecto del Estado de Hidratación sobre la Estimación del Consumo Máximo de Oxígeno en base a la Frecuencia Cardiaca

Teresa L Southard[1] y Joseph W Pugh[1]

[1]*United States Air Force Academy, Colorado Springs, Colorado.*

RESUMEN

Los test submáximos de valoración de la aptitud física aeróbica de manera característica extrapolan el consumo de oxigeno por medio de la frecuencia cardiaca. Debido a que la frecuencia cardiaca esta influenciada por el nivel de hidratación, este estudio fue realizado para investigar los efectos del estado de hidratación sobre los valores de VO_2 máx., estimados por medio de una evaluación submáxima en ciclo ergómetro. Quince cadetes hombres de la Academia de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos realizaron el USAF Fitness Test que es una evaluación submáxima en cicloergometro que valora la aptitud física en base a la frecuencia cardiaca, dos veces en un período de 3 días; una luego de un período de 12 hs de restricción de fluidos (prueba en estado de deshidratación) y una luego de un protocolo de hidratación en el cual los sujetos bebieron un volumen de agua equivalente al 2% del peso corporal 10 horas antes de la evaluación y un volumen adicional del 1% del peso corporal, al menos 30 minutos antes de la evaluación (prueba en estado de hidratación). Antes de la evaluación, los sujetos fueron pesados y se recolectaron muestras de orina. El peso específico de la orina (USG) se midió utilizando un refractómetro. Nuestros resultados indican que, durante la prueba en estado de deshidratación, la USG de los sujetos fue significativamente mayor y que los valores del VO_2 máx. y del peso fueron significativamente menores que los valores obtenidos durante la prueba en estado de hidratación. El cambio en el VO_2 máx. estuvo significativamente correlacionado al cambio en el porcentaje de peso corporal en las dos pruebas. Estos datos sugieren que el estado de hidratación afecta la estimación submáxima del VO_2 máx. en base a la frecuencia cardiaca.

Palabras Clave: evaluación submáxima en cicloergómetro, deshidratación, USAF fitness test

INTRODUCCION

La evaluación más precisa de la aptitud aeróbica es la medición del pico o de la tasa máxima de consumo de oxigeno (VO_2 máx.) durante el ejercicio con una carga estable incremental, usualmente en cinta o cicloergómetro. El VO_2 máx. medido tanto en mL/min como en mL/kg/min cuantifica la máxima capacidad individual para utilizar oxigeno en la producción aeróbica de ATP. Debido a que la medición directa del VO_2 máx. requiere de personal entrenado, costosos equipamientos y una considerable cantidad de tiempo, los métodos indirectos para la estimación del VO_2 máx. son utilizados a menudo para valorar la aptitud aeróbica. Muchos de estos test miden la frecuencia cardiaca durante el ejercicio y dependen de la relación lineal entre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxigeno para estimar el VO_2 máx.

En 1954, se desarrollo un nomograma para estimar el VO_2 máx. en base a la frecuencia cardiaca durante el ejercicio submáximo (2). La Fuerza Aérea de los Estados Unidos actualmente utilizan el Test en Cicloergómetro Submáximo (SCE), una versión modificada del test de Astrand-Rhyming, para estimar el VO_2 máx.. La validez del SCE ha sido evaluada en varios estudios. Una comparación de los valores del VO_2 máx. obtenidos con el uso del SCE y de aquellos obtenidos durante una evaluación máxima en cinta en 22 hombres entrenados y desentrenados reportó un coeficiente de correlación de r = 0.94 y un error estándar de estimación de 4.25 ml/kg/min (7). Sin embargo, se halló que el SCE subestima el verdadero valor del VO_2 máx. en un 20%. Una validación transversal evaluó 67 hombres y 67 mujeres tanto con un test máximo en cinta como con el SCE (13). Los resultados demostraron la alta reproducibilidad del SCE y establecieron coeficientes de correlación para la confiabilidad del test de r=0.85 para los hombres y r=0.84 para las mujeres. En promedio el SCE subestimo los valores de VO_2 máx. para los hombres en 2.2 ml/kg/min y sobrestimó en la misma proporción los valores para las mujeres. Subsecuentemente la USAF ajustó los algoritmos utilizados para calcular el VO_2 máx. y las nuevas ecuaciones se implementaron en 1998.

Una desventaja de la estimación del VO_2 máx. en base a la frecuencia cardiaca es que otros factores, además del consumo de oxígeno celular, influencian los cambios en la frecuencia cardiaca. Uno de dichos factores es el estado de hidratación. La deshidratación causa un incremento en la frecuencia cardiaca, tanto en reposo como durante el ejercicio. La frecuencia cardiaca de reposo se incrementó en un 5% en sujetos que estaban deshidratados en un 4% de su peso corporal (5). Durante ejercicio al 65% del VO_2 máx., una deshidratación del 0.9% causo una elevación en la frecuencia cardiaca de 10±2 latidos/minuto mientras que una deshidratación del 2.8% causó una elevación de 18±2 latidos/minuto (8). En este estudio el volumen sanguíneo permaneció constante, sugiriendo que la taquicardia no es un resultado del descenso en la presión sanguínea y de reflejos mediados por barorreceptores. En otro estudio, los cambios en la frecuencia cardiaca durante la deshidratación mostraron estar significativamente correlacionados con los niveles circulantes de noradrenalina, sugiriendo que el incremento en la frecuencia cardiaca inducido por la deshidratación puede ser resultado de una acción incrementada de la noradrenalina sobre los receptores beta-1- adrenérgicos del corazón (6). Un estudio reportó que un nivel de hiperhidratación del 0.7% no produjo cambios en la frecuencia cardiaca (10). Los efectos de la hidratación sobre el VO_2 máx. dependen del grado de deshidratación. Una deshidratación del 2.6% del peso corporal alcanzada durante un ejercicio previo, no afecto el VO_2 máx. en un grupo de siete mujeres moderadamente entrenadas (11). Similarmente, una deshidratación del 1.6 al 2.1% del peso corporal inducida por la administración de diuréticos, y la cual resultó en una disminución significativa en el rendimiento en carreras de 5000 y 10000 m, no mostró cambios en el VO_2 máx. (1). Sin embargo, una deshidratación del 4% del peso corporal produjo una disminución significativa en el VO_2 máx. en seis ciclistas de resistencia entrenados (12).

Los efectos del estado de hidratación sobre la estimación del VO_2 máx. en base a la frecuencia cardiaca no han sido evaluados previamente. Se esperaba que la restricción de fluidos de 12 horas utilizada en este estudio no causara deshidratación severa o impactara sobre el VO_2 máx. Sin embargo, hipotetizamos que los efectos de la deshidratación suave sobre la frecuencia cardiaca durante el ejercicio disminuiría significativamente la estimación del VO_2 máx. en base a la frecuencia cardiaca.

METODOS

Quince cadetes varones de la Fuerza Aérea de Estados Unidos, todos entre la edad de 18 y 22 años, se ofrecieron a participar en este estudio. Un análisis de potencia estadística ($\alpha<0.05$, $\beta<0.50$) reveló que 10 sujetos podrían ser suficientes para detectar una reducción de aproximadamente 10% en el VO_2 máx. esperado para sujetos deshidratados en un 0.9% (8). Nosotros elegimos 15 sujetos en el caso de que algunas evaluaciones fueran invalidadas o algunos sujetos fueran excluidos durante el estudio debido a lesiones imprevistas o enfermedad. Todos los sujetos eran saludables, no fumadores y no tomaban ninguna medicación. El protocolo experimental fue aprobado por el Consejo de Revisión Institucional de la Academia de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, y cada sujeto firmo un documento de consentimiento antes de la participación en el estudio. En este estudio se utilizaron solamente hombres debido a que la diferencia en el agua total entre hombres y mujeres representa una variable potencial de confusión en un estudio que involucra los efectos fisiológicos de la deshidratación.

Cada sujeto realizo el test de CSE dos veces durante un período de 3 días; uno luego de 12 horas de restricción de fluidos (prueba en estado de deshidratación o DE) y uno luego de un protocolo de hidratación prescrito (prueba en estado de hidratación o HY). La prueba en estado de hidratación requirió que los sujetos consumieran un volumen de agua equivalente al 2% de su peso corporal 10 horas antes del SCE y un volumen de agua adicional equivalente al 1% del peso corporal al menos 30 minutos antes de la evaluación. Estas cantidades fueron elegidas para corregir cualquier tipo de deshidratación preexistente (mayor al 2% del peso corporal). y para reemplazar la perdida de fluidos durante la noche.

Utilizando una cantidad constante de fluidos, sin considerar el nivel basal de hidratación, nosotros esperamos observar un amplio rango de diferencias en el estado de hidratación entre los sujetos y posiblemente correlacionar la magnitud de las diferencias al grado de cambio en el valor del SCE. Idealmente, los fluidos deberían consumirse aproximadamente 2 h antes del ejercicio para permitir la absorción completa y la excreción del exceso de agua; sin embargo, esto fue imposible debido a las limitaciones de tiempo que imponían los programas diarios de los sujetos. Las evaluaciones se realizaron siempre a las 7:00 AM, con el período de 12 h de restricción de fluidos comenzando a las 7:00 PM de la noche previa. El orden de las pruebas fue aleatorio.

En la mañana de la evaluación, se midió la talla y el peso de los sujetos, y cada sujeto suministro una muestra de orina. El peso específica de la orina (USG) se midió utilizando un refractómetro. El test se realizo en un ciclo ergómetro Monarch y durante toda la evaluación, los sujetos pedalearon a 50 rpm. La evaluación consistió en un período de entrada en calor de 2 min. seguido de un periodo de 0-8 min para el ajuste de la carga y un período de 6 min a carga estable. Los datos de la frecuencia cardiaca fueron recolectados cada minuto a lo largo de la evaluación. Durante el período de ajuste de la carga, la resistencia del cicloergómetro fue ajustada cada 2 minutos de acuerdo a un protocolo predefinido hasta que la frecuencia cardiaca fuera mayor de 125 lat/min pero no mayor del 75% del máximo estimado (220 – edad). Una vez que la frecuencia cardiaca estuvo dentro de la zona objetivo, se comenzó con el período de 6 minutos a carga estable. Los datos de la frecuencia cardiaca de 2 de los últimos 3 minutos de este período fueron usados en el cálculo del valor de VO_2 máx. Se requirió que los dos valores de frecuencia cardiaca utilizados en los cálculos, estuvieran dentro de los 5 lat/min, de otra manera, el test fue considerado como invalido. El valor del VO_2 máx. se calculó a partir de tres factores: un factor de consumo de oxigeno, un factor de frecuencia cardiaca, un factor de edad. Las ecuaciones utilizadas en los cálculos del VO_2 máx. se muestran en el Apéndice A. Todas estas ecuaciones, así como también el protocolo de evaluación están contenidas en el programa Fitsoft®. La persona encargada de administrar el test ingresa los datos de la altura, peso y edad, antes del comienzo del test y entonces sigue con las instrucciones para el ajuste de la carga. El programa calcula el VO_2 máx. en ml/kg/min. Debido a que se esperó que el peso corporal cambiara entre las dos pruebas en este estudio los valores del VO_2 máx. fueron convertidos a ml/min de manera que los cambios en el consumo de oxigeno pudieran ser evaluados independientemente del cambio en el peso.

Para el análisis de los datos se utilizo una planilla de cálculos Excel y el programa estadístico SPSS. Se analizaron diferencias en la USG, peso y VO_2 máx. utilizando el test t de Student para datos apareados, mientras que las relaciones entre las magnitudes de cambio en cada una de las variables fueron analizadas utilizando el coeficiente de correlación de Pearson. La significancia fue establecida en $p=0.05$. Los datos son presentados como media±desviación estándar.

De manera ideal, el VO_2 máx. real debería haberse medido para cada prueba. Sin embargo, debido a que estudios previos han establecido que la deshidratación suave (<4% del peso corporal) no afecta significativamente el VO_2 máx. (1, 11), y debido a limitaciones de tiempo por parte de los sujetos, estas mediciones no fueron realizadas.

RESULTADOS

Todos los sujetos completaron ambas pruebas. Los datos del VO_2 máx., USG, y peso para ambas pruebas se muestran en la Tabla 1. El peso especifico de la orina fue significativamente mayor y el peso corporal fue significativamente menor ($p<0.01$ para ambos) en la prueba DE que en la prueba HY. El período de 12 h de restricción de agua se asoció con una disminución en el peso corporal y un incremento en la USG en los 15 sujetos. El cambio en el peso corporal desde la prueba HY a la prueba DE promedió un 1.2±0.05%, mientras que la USG disminuyó en promedio un 0.017±0.008%. La National Athletic Trainer's Association (4) definió los siguientes estados de hidratación: "bien hidratado" como una USG<1.010, "mínimamente hidratado" como una USG entre 1.010 y 1.020, "significativamente deshidratado" como una USG entre 1.020 y 1.030, y "severamente deshidratado" como una USG>1.030. En base a estos criterios, 1 sujeto estuvo bien hidratado, 8 estuvieron mínimamente deshidratados, y 6 estuvieron significativamente deshidratados en la prueba HY mientras que 3 sujetos estuvieron significativamente deshidratados y 12 estuvieron seriamente deshidratados en la prueba DE.

	USG*	Peso* (kg)	VO_2max* (ml/min)
Prueba en estado de Hidratación	1.037 ± 0.008	78.5 ± 13.6	3398.3 ± 795.5
Prueba en estado de Deshidratación	1.020 ± 0.006	79.5 ± 13.8	3763 .8 ± 840.3

Tabla 1. *Resumen de los datos (media± DS, n = 15). * La diferencia es estadísticamente diferente (P < 0.05).*

Los valores de VO_2 máx. para todos los sujetos son mostrados en la Figura 1. Comparado con las pruebas HY los valores del VO_2 máx. fueron significativamente menores (p<0.01) en las pruebas DE. Todos los sujetos tuvieron valores menores en la prueba DE, con una diferencia en el rango de 24 a 705 ml/min (diferencia media= 365±173 ml/min). Los valores del VO_2 máx. en la prueba DE fueron también significativamente menores que los valores en la prueba HY cuando los datos se expresaron en ml/kg/min (p<0.01), a pesar de un descenso en el peso corporal asociado con la restricción de agua.

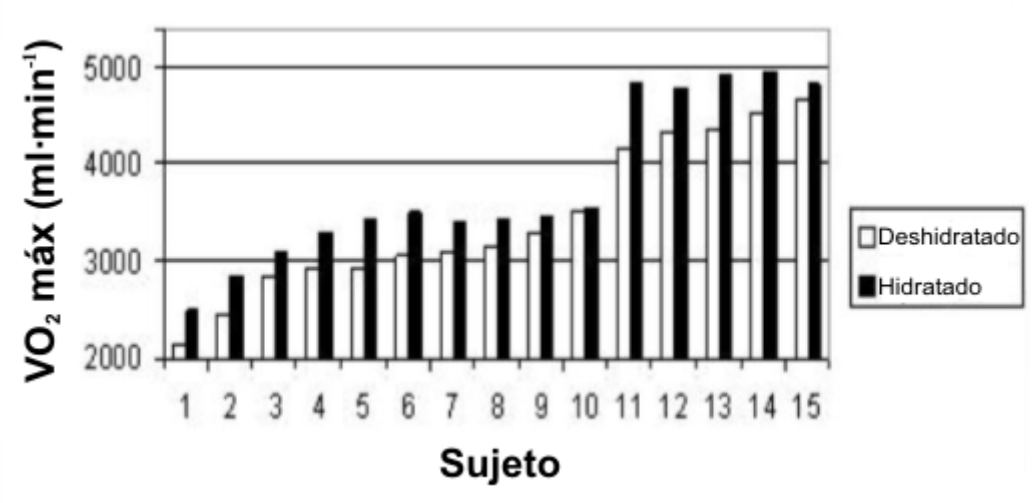


Figura 1. *Estimaciones del VO_2 máx. en 15 sujetos en base a la evaluación submáxima en cicloergómetro durante las pruebas en estado de hidratación y deshidratación. Los valores en las pruebas en estado de hidratación fueron significativamente mayores que aquellos en las pruebas en estado de deshidratación.*

Los coeficientes de correlación fueron calculados para establecer relaciones entre los cambios en el peso, USG y VO_2 máx.. Los valores de r son presentados en la Tabla 2. La única correlación significativa fue entre el porcentaje de cambio en el peso corporal y el valor de VO_2 máx. (r=0.54; p<0.05). La figura 2 muestra el diagrama de dispersión y la recta de regresión para estas dos variables.

	ΔUSG	Δ% de Peso	Δ VO_2 máx.
ΔUSG	-	0.11	0.28
Δ% de Peso	0.11	-	0.52*
Δ VO_2 máx. (ml/min)	0.28	0.52*	-

Tabla 3. *Coeficientes de correlación para el ΔUSG, Δ% de peso y Δ VO_2 máx. * Estadísticamente significativo (p<0.05).*

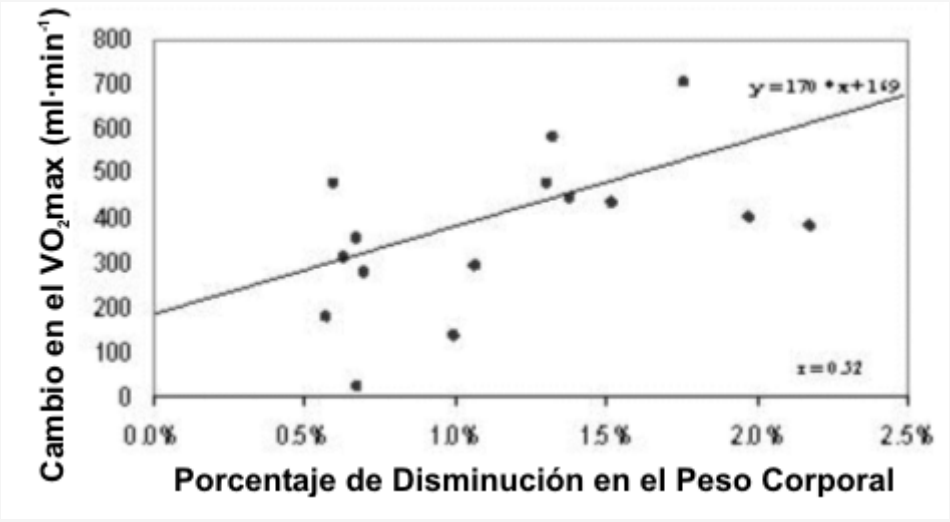


Figura 2. *Diagrama de dispersión que muestra la relación entre el porcentaje de cambio en el peso corporal y el cambio en el consumo máximo de oxigeno, estimado entre las pruebas en estado de hidratación y deshidratación (n=15).*

DISCUSION

Se sabe que la deshidratación incrementa la frecuencia cardiaca, tanto en reposo como durante el ejercicio. Sin embargo, la mayoría de los estudios no han hallado un efecto significativo de la deshidratación suave (<4% del peso corporal) sobre el VO_2 máx. (1, 11). Este estudio reveló que un período de 12 h de restricción de fluidos, que resultó en un 1.2±0.05% de deshidratación cuando se lo comparo con el protocolo específico de hidratación, estuvo asociado con una disminución significativa en las estimaciones del VO_2 máx. en base a la frecuencia cardiaca. Estos resultados fueron similares ya sea si el VO_2 máx. se expreso en ml/min o en ml/kg/min. El cambio en el valor del VO_2 máx. (ml/min) estuvo significativamente correlacionado con el porcentaje de cambio en el peso corporal.

Aunque el porcentaje de cambio en el peso corporal estuvo correlacionado al cambio en el VO_2 máx., no se hallaron correlaciones entre el valor del VO_2 máx. y otras mediciones del estado de hidratación, tal como la USG. Esta falta de correlación podría deberse a problemas metodológicos. Algunos sujetos no fueron capaces de proveer la muestra de orina cuando llegaron al lugar en que se realizo la evaluación. En estos sujetos, la recolección de las muestras de orina se realizo luego de la evaluación. Se ha mostrado que los índices urinarios son pobres indicadores del estado de hidratación luego de la realización de ejercicios (9). También, para algunos sujetos (aunque no todos), se recolecto la primer orina de la mañana la que generalmente es la orina más concentrada producida a través del día. La estandarización del muestreo de la orina puede resultar en una mejor correlación entre la USG y el cambio en el VO_2 máx.

Estudios previos han mostrado que la deshidratación suave (0.9 – 2.8%) causa en promedio una elevación en la frecuencia cardiaca de ejercicio de 10–18 latidos/min (8). Utilizando las ecuaciones del test SCE, un cambio en la frecuencia cardiaca de ejercicio promedio, desde 135 latidos/min a 145 latidos/min (valores que se verían típicamente para sujetos varones de 20 años de edad) resultaría en una disminución del 10.5% en el valor estimado del VO_2 máx.. Este valor esta en acuerdo con la disminución del 9.6% observada en nuestros sujetos. Otros estudios han concluido que similares niveles de deshidratación no alteran significativamente el valor real del VO_2 máx. (1, 11). Estos resultados sugieren que la disminución en el VO_2 máx. estimado, reportada en nuestro estudio, pueda deberse más probablemente a una taquicardia inducida por la deshidratación, más que a un real descenso en el consumo de oxigeno. Un posible mecanismo de la taquicardia, tal como lo propusiera Gonzales-Alonzo y cols. (6) es un incremento en la liberación de noradrenalina secundario a la deshidratación Se requieren futuros estudios que incluyan la medición del VO_2 máx. real y los niveles circulantes de noradrenalina para posteriormente esclarecer la relación entre la hidratación y la estimación del VO_2 máx. en base a la frecuencia cardiaca.

Conclusiones

Nuestros hallazgos sugieren que el estado de deshidratación debería ser considerado cuando se utilicen datos de la frecuencia cardiaca en la valoración de la aptitud aeróbica. Una disminución en el consumo de fluidos, y/o el uso de

diuréticos tal como alcohol o cafeína antes de la valoración del VO_2 máx. en base a la frecuencia cardiaca podría resultar en una subestimación del mismo. Sorprendentemente, aun en las pruebas en estado de hidratación en este estudio, 14 de los 15 sujetos estuvieron moderadamente a significativamente deshidratados, sugiriendo que los valores en la prueba HY podrían haber sido aun mayores con un protocolo de hidratación más riguroso. Debido a que el incremento en la frecuencia cardiaca en respuesta a la deshidratación no refleja un incremento en las demandas tisulares de oxigeno, nosotros estimamos que las pruebas en estado de hidratación proveen una estimación más precisa del VO_2 máx. Sin embargo, se requerirán posteriores estudios para valorar el efecto de la hidratación sobre la correlación entre la estimación del VO_2 máx. en base a la frecuencia cardiaca y la medición directa del mismo.

APENDICE

Ecuaciones para calcular el VO_2 máx. a partir del Test de SCE

Factor Consumo de Oxigeno (OCF)

OCF = (Carga de trabajo x 3054) + (670 x ((Peso ^ 0.5) x (Talla ^ 0.75) x 0.00491)

Factor Frecuencia Cardiaca (HRF)

HRF (mujer) = (210 – 72) / (Frecuencia Cardiaca Promedio – 72)

HRF (Hombre) = (205 – 61) / (Frecuencia cardiaca Promedio– 61)

Factor Edad (AF)

AF (Mujer) = 100 / (100 + (1.14 x edad) – 23)

AF (Hombre) = 100 / (100 + (1.37 x Edad) – 33.2)

VO_2 máx. (ml/min) = (OCF x HRF x AF)

VO_2 máx. (ml/min/kg) = (OCF x HRF x AF) / peso

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. David Hale, Dr. Tom Unangst y al Dr. Holly Franz por sus atentas críticas a este manuscrito.

Dirección para Correspondencia:

Capt Teresa L. Southard, HQ USAFA/DFB, 2355 Faculty Drive, USAFA CO 80840, Teléfono: (719) 333-6010; Fax: (719) 333-2420; Correo electrónico: teresa.southard@usafa.af.mil

REFERENCIAS

1. Armstrong, LE, Costill DL, Fink WJ (1985). Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med Sci Sports Exerce;17:456-61*
2. Astrand, PO, Rhyming I (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol;7:218-221*
3. Blair, SN, Ellsworth NM, Haskell WL, Stern MP, Farguhar JW, Wood PD (1981). Comparison of nutrient intake in middle-aged men and women runners and controls. *Med Sci Sports Exerc;12:310-315*
4. Casa, DJ, Armstrong LE, Hillman SK, Montain SJ, Reiff RV, Rich BSE et al (2000). National Athletic Trainers Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes. *Journal of Athletic Training; 35:212-224*
5. Gonzalez-Alonso, J, Mora-Rodriguez R, Below PR, Coyle EF (1997). Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol;82:1229-36*
6. Gonzalez-Alonso, J, Mora-Rodriguez R, Coyle EF (2000). Stroke volume during exercise: interaction of environment and hydration. *Am J Physiol Heart Circ Physiol;278:H321-30*

7. Hartung, GH, Krock LP, Crandall CG, Bisson RU, Myhre LG (1993). Prediction of maximal oxygen uptake from submaximal exercise testing in aerobically fit and nonfit men. *Aviat Space Environ Med;64:735-40*
8. Heaps, CL, Gonzalez-Alonso J, Coyle EF (1994). Hypohydration causes cardiovascular drift without reducing blood volume. *International Journal of Sports Medicine;15:74-9*
9. Kovacs, EM, Senden JM, Brouns F (1999). Urine color, osmolality and specific electrical conductance are not accurate measures of hydration status during postexercise rehydration. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness;39:47-53*
10. Maresh, CM, Bergeron MF, Kenefick RW, Castellani JW, Hoffman JR, Armstrong LE (2001). Effect of overhydration on time-trial swim performance. *J Strength Cond Res;15:514-8*
11. Moquin A, Mazzeo RS (2000). Effect of mild dehydration on the lactate threshold in women. *Medicine & Science in Sports & Exercise ;32: 396-402*
12. Nybo, L, Jensen T, Nielsen B, Gonzalez-Alonso J (2001). Effects of marked hyperthermia with and without dehydration on VO(2) kinetics during intense exercise. *J Appl Physiol; 90:1057-64*
13. Pollock ML, Garzarella L, DeHoyos D, Brechue W, Beekley M, Werber G et al (1994). The cross-validation of the United States Air Force submaximal cycle ergometer test to estimate aerobic capacity. *Brooks Air Force Base, TX: Air Force Materiel Command, Interim Technical Report AL/CR-TR-;0046:1-112*

Cita Original

Teresa L. Southard And Joseph W. Pugh. Effect of Hydration State on Heart Rate-Based Estimates of VO2 máx. JEPonline, 7 (1): 19-25, 2004.