

Monograph

Efecto del Protocolo de Ejercicio (“Entrada en Calor”) sobre la Recuperación de la Frecuencia Cardíaca Post-ejercicio

Gordon Pierpont

Minneapolis VA Medical Center and University of Minnesota/ Minneapolis, MN, Estados Unidos.

RESUMEN

La demora en la recuperación de la frecuencia cardíaca (HRR) luego de los ejercicios indica un pronóstico negativo, pero los efectos que producen los diferentes protocolos de ejercicios sobre dicha demora todavía no están claros. Por consiguiente, este estudio fue diseñado para probar la hipótesis que sostiene que la HRR podría variar, dependiendo del protocolo utilizado para realizar el ejercicio de máxima intensidad. Dieciséis voluntarios saludables realizaron ejercicios hasta el agotamiento utilizando 2 protocolos completamente diferentes. El protocolo *WmUp* contempló un aumento gradual y progresivo en la velocidad y en la pendiente de la cinta rodante, mientras que el protocolo *Sdn* consistió en un ejercicio de alta intensidad de inicio repentino. El protocolo *WmUp* produjo una frecuencia cardíaca máxima mayor (178 ± 6 lat.min⁻¹) que el protocolo *Sdn* (170 ± 6 , $p < 0,001$). La HRR determinada en el min 1 no fue significativamente diferente de la observada luego del *WmUp* (-41 ± 14 vs. -44 ± 15 lat.min⁻¹, $p = 0,07$). Sin embargo, cuando se expresó en forma de cambio porcentual con respecto a la HR máxima (36 ± 10 vs. $42 \pm 12\%$, $p = 0,002$), sí se observaron diferencias significativas. Durante los dos minutos posteriores al ejercicio no se observaron diferencias en HRR (cambio absoluto o porcentual). Estos resultados demuestran que el protocolo de ejercicio puede afectar la frecuencia cardíaca máxima que se alcanza, pero el efecto subsecuente sobre la HRR es demasiado pequeño para ser clínicamente relevante.

Palabras Clave: fisiología cardiovascular, prescripción de ejercicio, intensidad, frecuencia cardíaca máxima

INTRODUCCION

En la actualidad está ampliamente reconocido que la demora en el restablecimiento de la frecuencia cardíaca (HRR) luego de realizar ejercicio predice un pronóstico negativo. Esto incluye riesgo de muerte súbita así como también otras causas de mortalidad (1). Este riesgo puede ser demostrado en individuos asintomáticos (1-5), ancianos, (6) pacientes derivados para evaluaciones de ejercicio (7-10), y pacientes con enfermedad de las arterias coronarias (11-13), diabetes mellitus (14), insuficiencia cardíaca congestiva (15), y luego de infarto de miocardio (16).

También se ha usado para predecir la cardiopatía isquémica subsecuente (17), isquemias cardíacas o accidentescerebrovasculares (18), y puede mejorar con el acondicionamiento físico (19, 20). Sin embargo no hay ningún protocolo de ejercicio universalmente aceptado para medir la HRR, y no se dispone de datos que reflejen los efectos que tienen las variaciones en el protocolo de ejercicio sobre la HRR. Por consiguiente este estudio fue diseñado para

determinar si la demora en la recuperación de la frecuencia cardíaca (HRR) es influenciada por el tipo de protocolo utilizado en el test de ejercicio. Esto fue llevado a cabo comparando la HRR luego de dos protocolos de ejercicio muy diferentes; uno de los cuales incluyó un período de calentamiento mientras que el otro no lo hizo.

MÉTODOS

Sujetos

Este estudio fue aprobado por el Subcomité de Estudios con Seres Humanos del Centro Médico de Minneapolis, conforme a las recomendaciones de HIPPA, y de la Declaración de Helsinki. Los 16 voluntarios saludables (5 mujeres y 11 hombres) de edades comprendidas entre los 21 y 59 años (media= 39) dieron su consentimiento informado.

Procedimientos

Todos los sujetos realizaron los ejercicios siguiendo dos protocolos diferentes. El primero incluyó un calentamiento (*WmUp*) empezando con una intensidad de ejercicio muy baja. El segundo protocolo fue aumentando la intensidad gradualmente hasta que los sujetos se agotaran. La cinta rodante comenzó con una inclinación de 0% y a 1 mph (1,609 km.h⁻¹), y luego la inclinación fue aumentando a cada minuto 1% y la velocidad 0,3 mph alternando con 0,2 mph (lo que daba como resultado un incremento de 1 mph cada 4 min). El ejercicio se repitió luego de 3 días como mínimo, siguiendo un protocolo de ejercicio que consistía en ejercicio repentino de alta intensidad (*Sdn*). La cinta rodante fue fijada en la intensidad de trabajo máxima alcanzada durante el primer esfuerzo, y continuó en esa intensidad hasta alcanzar el agotamiento. Debido a que el protocolo de *WmUp* siempre fue realizado en primer lugar, se minimizaron los efectos del entrenamiento, limitando el estudio a aquéllos voluntarios que realizaban ejercicio regularmente y tenían experiencia en el uso de la cinta rodante.

Los sujetos se sentaron inmediatamente al finalizar el ejercicio (sin período de “recuperación”). Se registró continuamente el ECG. La frecuencia cardíaca (HR) fue calculada a partir de intervalos sucesivos de R-R excluyendo los latidos prematuros. La HR máxima fue calculada como el promedio de 6 latidos justo antes de finalizar del ejercicio. La frecuencia cardíaca durante la recuperación se tomó como la HR que correspondió al tiempo en cuestión (1 o 2 min post-ejercicio) promediado con los 2 latidos previos y los dos latidos subsecuentes. La HRR fue determinada en los minutos 1 y 2 post-ejercicio a medida que la HR disminuía desde el valor máximo, y el cambio porcentual en la HR fue calculado utilizando el valor de HR en reposo, pre-ejercicio, como valor inicial (línea de base).

Análisis Estadísticos

Los valores pre- y post-ejercicio fueron comparados mediante el test-t de Student para muestras pareadas.

Los resultados se presentan como media±DS, y las diferencias fueron consideradas estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$. Asumiendo que una diferencia de 5 lat.min⁻¹ es fisiológicamente significativa, entonces un n=16 proporcionaría la potencia necesaria (>95%) para detectar dicha diferencia suponiendo que la desviación estándar de las diferencias es igual a 5 lat.min⁻¹, con alfa $p=0,05$.

RESULTADOS

En la Figura 1 se presentan los resultados sintetizados de las respuestas frente a los 2 protocolos de ejercicio. Con el protocolo *WmUp*, los sujetos alcanzaron HR máximas, en promedio $9,0 \pm 5,4$ lat.min⁻¹ más altas (intervalo 1 a 21, $p < 0,001$). Así, luego del protocolo *WmUp*, la recuperación comenzó a partir de una HR más alta que la observada al final del protocolo *Sdn*.

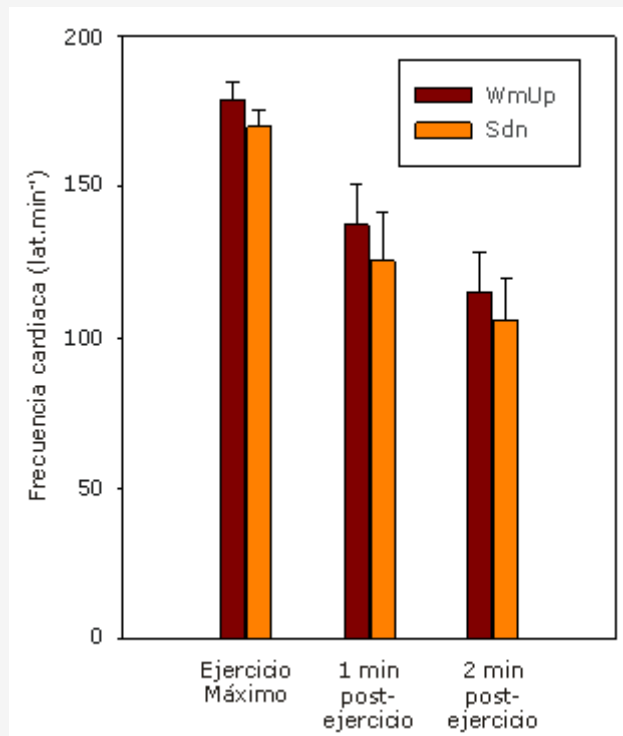


Figura 1. Respuesta de la frecuencia cardiaca frente al protocolo con calentamiento (*WmUp*) comparada con la del protocolo repentino (*Sdn*). Los datos se expresan como media \pm DS.

Las respuestas individuales de la variación de la HR con respecto a la HR máxima luego del ejercicio (post-ejercicio) se presentan en la Figura 2. Luego del *WmUp* la HRR casi se había alcanzado por completo en el minuto 1 post-ejercicio. Esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p=0,07$). Sin embargo, cuando los datos se expresan como porcentaje de recuperación al min 1 luego del ejercicio, la diferencia entre los dos protocolos (*WmUp* y *Sdn*) se vuelve estadísticamente significativa ($p=0,002$), pero la magnitud de esta diferencia es pequeña ($6,0\pm 6,5\%$). A los 2 minutos post-ejercicio, no se encontraron diferencias entre los protocolos en la recuperación de la HR ($0,6\pm 10,8$ lat.min⁻¹, $p=0,84$) cuando la misma se expresó en términos absolutos, mientras que cuando se expresó en términos porcentuales la diferencia en la recuperación fue significativa ($5,4\pm 10,0\%$; $p=0,05$).

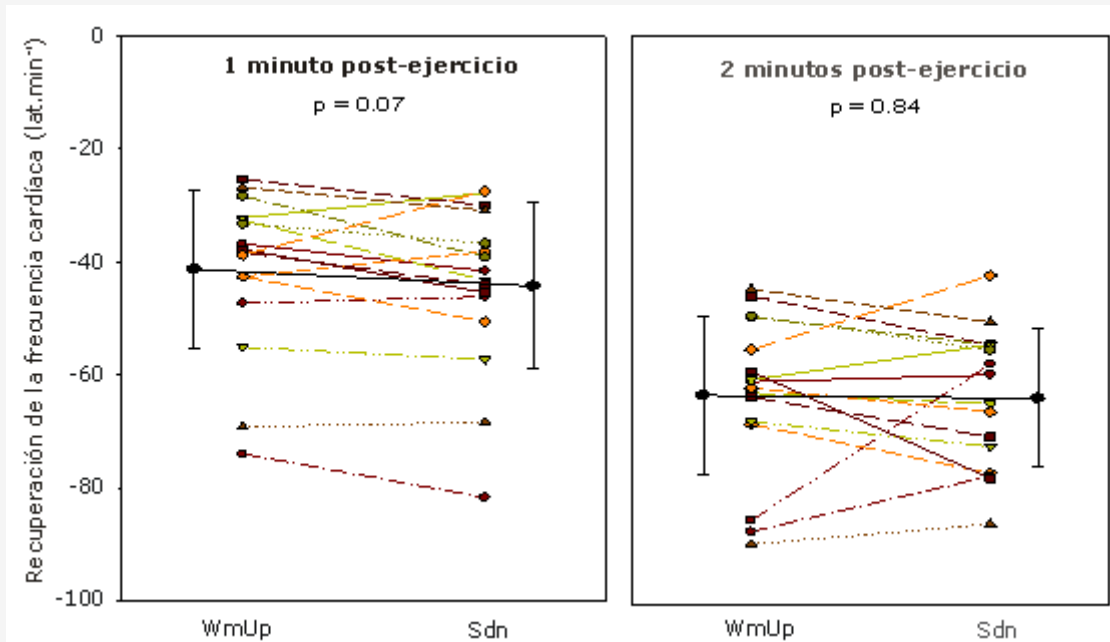


Figura 2. Recuperación de la frecuencia cardíaca (expresada como cambio con respecto a la frecuencia cardíaca máxima) para cada individuo en los minutos 1 y 2 post-ejercicio en los dos protocolos de ejercicio. Protocolo con entrada en calor (WmUp) y protocolo de inicio repentino sin entrada en calor (Sdn).

DISCUSION

Control Autónomo de la Frecuencia Cardíaca Durante el Ejercicio

Generalmente se acepta, que la frecuencia cardíaca aumenta al comienzo del ejercicio, principalmente debido a la inhibición parasimpática (21, 22). A medida que el ejercicio progresa hacia intensidades más altas, predomina la activación simpática, que es una de las principales responsables de que se alcance la frecuencia cardíaca máxima en el ejercicio de intensidad máxima (23, 24). Así, la dinámica del sistema nervioso autónomo con el ejercicio puede variar significativamente dependiendo de cómo se inicie y cómo progrese el ejercicio. En consecuencia, podrían verse afectadas la capacidad de ejercicio a máxima intensidad y la subsecuente recuperación. De hecho, se considera que establecer un período de "entrada en calor" es preferible a comenzar repentinamente un gran esfuerzo físico, y la entrada en calor ya forma parte de la rutina de deportes competitivos y de programas de ejercicios recreacionales (25, 26).

Durante la Recuperación

El papel relativo de reactivación parasimpática respecto de la inhibición simpática en la determinación de la recuperación de la HR luego del ejercicio se conoce con menos detalle. Si bien los dos sistemas están claramente involucrados, algunos autores sugieren que la reactivación parasimpática domina las fases tempranas de la recuperación del ejercicio (27, 28). Otros autores (29) destacan el papel de la inhibición simpática. En cualquiera de los dos casos, no se dispone de datos sobre las diferencias potenciales en la dinámica de la recuperación de la frecuencia cardíaca que se deben puntualmente a diferencias en la naturaleza del esfuerzo. La mayoría de los estudios realizados usaron ejercicio máximo limitado por síntomas, aunque también hay estudios que emplearon niveles submáximos (ref). Adicionalmente, algunos estudios (ref) incluyeron un período de "vuelta a la calma" con ejercicios de baja intensidad al final del ejercicio, mientras que otros realizaron inmediatamente un descanso, y los autores no siempre aclararon si el descanso fue realizado estando los sujetos sentados o acostados. Todos los estudios que se citan en la introducción, que utilizaron ejercicios en cinta rodante, observaron que el retraso en el HRR predecía un pronóstico negativo.

Efecto del Protocolo de Ejercicio (Entrada en Calor)

Durante mucho tiempo se ha sostenido que una adecuada entrada en calor refuerza el rendimiento físico y permite que se alcance la máxima producción de potencia (ref). Este estudio no intentó medir o comparar la cantidad de trabajo realizado

o la capacidad aeróbica máxima. Sin embargo, no es sorprendente que los sujetos normales pudieran alcanzar una HR más alta con el protocolo *WmUp* que con el protocolo *Sdn*. Debido a que los sujetos alcanzaron una HR más alta en la condición *WmUp*, tampoco es sorprendente que el restablecimiento de la frecuencia cardíaca haya tomado una cantidad de tiempo ligeramente mayor con este protocolo. Las catecolaminas no fueron determinadas luego del ejercicio, pero es razonable especular que con el protocolo *WmUp* se alcanzó un nivel de norepinefrina más alto. De esta manera, sería necesaria una mayor cantidad de tiempo para degradar la norepinefrina, y la HR permanecería elevada durante un período de tiempo más largo. Esto sería consistente con el hecho de que la HR se recupera más rápidamente desde niveles de ejercicio más bajos donde la activación del sistema simpático es menor en comparación con los niveles de ejercicio más altos.

La diferencia de 3 lat.min⁻¹ en el HRR, observada entre los protocolos en el minuto 1 post-ejercicio no fue estadísticamente significativa por un pequeño margen ($p=0,07$), pero fue estadísticamente significativa cuando los datos fueron analizados como cambio porcentual. Sin embargo, esta pequeña diferencia probablemente no tiene importancia fisiológica, aun cuando se produzca un error de tipo beta en el análisis de las variaciones en los valores absolutos. En la sección "métodos" de este estudio, se estimó que la desviación estándar era de 5 lat.min⁻¹. Con 16 sujetos incluidos en el estudio, la desviación estándar de las diferencias entre los 2 protocolos resulto ser 6,1 lat.min⁻¹. Esto todavía proporcionaría una potencia de 87% para detectar una diferencia significativa de 5 lat.min⁻¹ o mayor. Por lo tanto, es improbable que la inclusión de un mayor número de sujetos en la muestra de nuestro estudio altere las conclusiones.

Limitaciones del Estudio

Ninguno de los protocolos empleados en este estudio es utilizado normalmente en la mayoría de los laboratorios de ejercicio. Sin embargo, los protocolos fueron elegidos intencionalmente para representar el amplio espectro de aplicaciones que pueden realizarse en una cinta rodante, con la suposición que implica que si no se observan diferencias entre los protocolos tan diferentes uno del otro, probablemente tampoco se observarían diferencias entre otros protocolos con diferencias menores. De esta manera, los resultados podrían generalizarse a múltiples protocolos que utilizan ejercicios en cinta rodante. La generalización hacia a otros tipos de ejercicio, tales como ergómetros para brazos o bicicletas ergométricas, sería más aventurada.

La inclusión de pacientes con insuficiencia cardíaca u otras enfermedades con alteraciones en el sistema nervioso autónomo conocidas, no se encontraba dentro del alcance de este estudio. Dado que los pacientes con insuficiencia cardíaca tienen cinéticas de variación en el consumo de oxígeno anormales durante el comienzo del ejercicio (31), es posible que debido a la alteración que poseen en la fisiología del ejercicio o a los efectos de la medicación consumida para tratar la enfermedad, podrían volverse más sensibles a los cambios en el protocolo de ejercicio y a la HRR subsecuente.

Este estudio no planteó la discusión acerca de cual metodología utilizar para determinar la HRR. La curva de HR post-ejercicio fue construida utilizando la disminución exponencial (27, 29), pero esta metodología ha sido problemática (32). Nuevamente, en este estudio se utilizó la recuperación en los minutos 1 y 2 post-ejercicio, debido a su simplicidad y a su comprobada capacidad predictiva (1, 2, 4, 6-16).

Conclusiones

En síntesis, el protocolo de ejercicio puede influir en la HR máxima que se alcance y en la HRR subsiguiente. Sin embargo, a pesar de que las diferencias entre los protocolos utilizados en este estudio eran grandes, la magnitud del efecto sobre la HRR fue relativamente pequeña. Por lo tanto, las inferencias clínicas de los análisis de HRR deberían ser válidas utilizando la mayor parte de los protocolos que permitan que los sujetos alcancen sus límites cardiovasculares. La metodología preferida para obtener resultados simples, comparables y fáciles de reproducir de la HRR podría implicar utilizar ejercicios máximos en cinta rodante limitados por síntomas (utilizando el protocolo de laboratorio individual preferido), seguidos inmediatamente por un descanso post-ejercicio mientras los sujetos permanecen sentados.

Agradecimientos

Este estudio fue realizado con los aportes del Departamento de Asuntos de Veteranos de Estados Unidos.

REFERENCIAS

1. Jouven X., Empana J. P., Schwartz P. J., Desnos M., Courbon D., Ducimetiere P (2005). Heart-rate profile during exercise as a predictor of sudden death. *N Engl J Med* ; 352(19):1951-1958
2. Cole C. R., Foody J. M., Blackstone E. H., Lauer M. S (2000). Heart rate recovery after submaximal exercise testing as a predictor of

- mortality in a cardiovascularly healthy cohort. *Ann Intern Med* ; 132(7):552-555
3. Mora S., Redberg R. F., Cui Y., Whiteman M. K., Flaws J. A., Sharrett A. R., Blumenthal R. S (2003). Ability of exercise testing to predict cardiovascular and all-cause death in asymptomatic women: a 20-year follow-up of the lipid research clinics prevalence study. *JAMA*; 290(12):1600-1607
 4. Aktas M. K., Ozduran V., Pothier C. E., Lang R., Lauer M. S (2004). Global risk scores and exercise testing for predicting all-cause mortality in a preventive medicine program. *JAMA*; 292(12):1462-1468
 5. Morshedi-Meibodi A., Larson M. G., Levy D., O'Donnell C. J., Vasan R. S (2002). Heart rate recovery after treadmill exercise testing and risk of cardiovascular disease events (The Framingham Heart Study). *Am J Cardiol*; 90(8):848-852
 6. Messinger-Rapport B., Pothier Snader C. E., Blackstone E. H., Yu D., Lauer M. S (2003). Value of exercise capacity and heart rate recovery in older people. *J Am Geriatr Soc*; 51(1):63-68
 7. Cole C. R., Blackstone E. H., Pashkow F. J., Snader C. E., Lauer M. S (1999). Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med*; 341(18):1351-1357
 8. Diaz L. A., Brunken R. C., Blackstone E. H., Snader C. E., Lauer M. S (2001). Independent contribution of myocardial perfusion defects to exercise capacity and heart rate recovery for prediction of all-cause mortality in patients with known or suspected coronary heart disease. *J Am Coll Cardiol*; 37(6):1558-1564
 9. Nishime E. O., Cole C. R., Blackstone E. H., Pashkow F. J., Lauer M. S (2000). Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG. *JAMA*; 284(11):1392-1398
 10. Watanabe J., Thamilarasan M., Blackstone E. H., Thomas J. D., Lauer M. S (2001). Heart rate recovery immediately after treadmill exercise and left ventricular systolic dysfunction as predictors of mortality: the case of stress echocardiography. *Circulation*; 104(16):1911-1916
 11. Shetler K., Marcus R., Froelicher V. F., Vora S., Kalisetti D., Prakash M., Do D., Myers J (2001). Heart rate recovery: validation and methodologic issues. *J Am Coll Cardiol*; 38(7):1980-1987
 12. Vivekananthan D. P., Blackstone E. H., Pothier C. E., Lauer M. S (2003). Heart rate recovery after exercise is a predictor of mortality, independent of the angiographic severity of coronary disease. *J Am Coll Cardiol*; 42(5):831-838
 13. Lipinski M. J., Vetrovec G. W., Froelicher V. F (2004). Importance of the first two minutes of heart rate recovery after exercise treadmill testing in predicting mortality and the presence of coronary artery disease in men. *Am J Cardiol*; 93(4):445-449
 14. Cheng Y. J., Lauer M. S., Earnest C. P., Church T. S., Kampert J. B., Gibbons L. W., Blair S. N (2003). Heart rate recovery following maximal exercise testing as a predictor of cardiovascular disease and all-cause mortality in men with diabetes. *Diabetes Care*; 26(7):2052-2057
 15. Lipinski M. J., Vetrovec G. W., Gorelik D., Froelicher V. F (2005). The importance of heart rate recovery in patients with heart failure or left ventricular systolic dysfunction. *J Card Fail*; 11(8):624-630
 16. Nissinen S. I., Makikallio T. H., Seppanen T., Tapanainen J. M., Salo M., Tulppo M. P., Huikuri H. V (2003). Heart rate recovery after exercise as a predictor of mortality among survivors of acute myocardial infarction. *Am J Cardiol*; 91(6):711-714
 17. Pitsavos C. H., Chrysohoou C., Panagiotakos D. B., Kokkinos P., Skoumas J., Papaioannou I., Michaelides A. P., Singh S., Stefanadis C. I (2004). Exercise capacity and heart rate recovery as predictors of coronary heart disease events, in patients with heterozygous Familial Hypercholesterolemia. *Atherosclerosis*; 173 (2): 347-352
 18. Shishehbor M. H., Baker D. W., Blackstone E. H., Lauer M. S (2002). Association of educational status with heart rate recovery: a population-based propensity analysis. *Am J Med*; 113(8):643-649
 19. Kligfield P., McCormick A., Chai A., Jacobson A., Feuerstadt P., Hao S. C (2003). Effect of age and gender on heart rate recovery after submaximal exercise during cardiac rehabilitation in patients with angina pectoris, recent acute myocardial infarction, or coronary bypass surgery. *Am J Cardiol*; 92(5):600-603
 20. Tiukinhoy S., Boehar N (2000). Cardiac rehabilitation and improvement in heart rate recovery on follow-up exercise stress testing: Comparison with a control cohort. *Circulation*; 102(18):II-821 - II-822
 21. Robinson B. F., Epstein S. E., Beiser G. D., Braunwald E (1966). Control of heart rate by the autonomic nervous system. *Circ Res*; 19(2):400-411
 22. Maciel B. C., Gallo L., Marin Neto J. A., Lima Filho E. C., Martins L. E. B (1986). Autonomic nervous control of the heart rate during dynamic exercise in normal man. *Clin Sci*; 71(4):457-460
 23. Leuenberger U., Sinoway L., Gubin S., Gaul L., Davis D., Zelis R (1993). Effects of exercise intensity and duration on norepinephrine spillover and clearance in humans. *J Appl Physiol*; 75(2):668-674
 24. Haggendal J., Hartley L. H., Saltin B (1970). Arterial noradrenaline concentrations during exercise in relation to the relative work levels. *Scand J Clin Lab Invest*; 26(4):337-342
 25. Jones A. M., Koppo K., Burnley M (2003). Effects of prior exercise on metabolic and gas exchange responses to exercise. *Sports Med*; 33(13):949-971
 26. Bishop D (2003). Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure warm up. *Sports Med*; 33(7):483-498
 27. Imai K., Sato H., Hori M., Kusuoka H., Ozaki H., Yokoyama H., Takeda H., Inoue M., Kamada T (1994). Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol*; 24(6):1529-1535
 28. Perini R., Orizio C., Comande A., Castellano M., Beschi M., Veicsteinas A (1989). Plasma norepinephrine and heart rate dynamics during recovery from submaximal exercise in man. *Eur J Appl Physiol*; 58(8):879-883
 29. Savin W. M., Davidson D. M., Haskell W. L (1982). Autonomic contribution to heart rate recovery from exercise in humans. *J Appl Physiol*; 53(1):1572-1575
 30. Gaibazzi N., Petrucci N., Ziacchi V (2004). One-minute heart rate recovery after cycloergometer exercise testing as a predictor of mortality in a large cohort of exercise test candidates: substantial differences with the treadmill-derived parameter. *Ital Heart J*; 5(3):183-188
 31. Arena R., Humphrey R., Peberdy M. A (2001). Measurement of oxygen consumption on-kinetics during exercise: implications for

patients with heart failure. *J Card Fail*; 7(4):302-310

32. Pierpont G. L., Stolpman D. R., Gornick C. C (2000). Heart rate recovery post-exercise as an index of parasympathetic activity. *J Auton Nerv Syst*; 80(3):169-174

Cita Original

Gordon Pierpont. Effect of Exercise Protocol (warm-up) on Post-Exercise Heart Rate Recovery. *JEPonline*, 11 (1): 38-44, 2008.