PubliCE, (PubliCE) 2001

Monograph

# Efectos de la Hipoperfusión-Hiperemia Muscular sobre el Rendimiento en Saltos Verticales Repetidos

Avery D Faigenbaum[3], Amy K Howell[1], John P Gaughan[2], Marilyn A Cairns[1] y Joseph R Libonati[4]

[1]*Human Performance Laboratory, Department of Cardiopulmonary and Exercise Sciences, Northeastern University, Boston, Massachusetts.*
[2]*Department of Biostatistics, Temple University School of Medicine, Philadelphia, Pennsylvania.*
[3]*Department of Human Performance and Fitness, University of Massachusetts (A.D.F), Boston, Mass; South Shore YMCA (W.L.W., C.L., R.L-R.L., M.D.), Quincy, Mass; Children's Hospital (L.J.M.), Boston, Mass.*
[4]*Biokinetics Research Laboratory, Department of Kinesiology, Temple University, Philadelphia, Pennsylvania.*

## RESUMEN

Las alteraciones en el flujo sanguíneo hacia los músculos esqueléticos pueden influenciar marcadamente el rendimiento durante la realización de ejercicios. La utilización de breves períodos de hipoperfusión arterial seguida de hiperemia (hipoperfusión – hiperemia) han mostrado reducir la fatiga muscular en un modelo de flexiones isométricas de muñeca repetidas. Sin embargo, el mecanismo por el cual la hipoperfusión – hiperemia influencia las destrezas motoras dinámicas aun continua siendo desconocido. El propósito de este estudio fue determinar los efectos de breves períodos de hipoperfusión-hiperemia (por oclusión de la arteria femoral) sobre el rendimiento en saltos verticales repetidos. Hombres y mujeres entrenados en forma recreacional (n = 10, media ± DE para la edad, 25 ± 2 años), realizaron dos pruebas de saltos aleatoriamente asignadas, cada una de las cuales consistió en 40 saltos verticales máximos. La altura de los saltos fue grabada en video con una cámara digital Sony y analizada con el programa Scion Images. La prueba 1 consistió de 40 saltos verticales sin oclusión de la arteria femoral. La prueba 2 consistió de 40 saltos verticales precedidos por la oclusión de la arteria femoral durante 90 segundos a 200 mm Hg, seguido de 10 segundos de hiperemia antes de los saltos. Para ambas pruebas, la tasa de declinación en la potencia, tanto en hombres como en mujeres, fue aproximadamente del 90%. La hipoperfusión – hiperemia no tuvo un efecto significativo sobre la potencia producida durante la realización de saltos verticales, quizás debido a que nos se realizó la oclusión de los grupos musculares adicionales utilizados durante los saltos (e.g., glúteos y brazos). Estos resultados garantizan la realización de investigaciones adicionales acerca del efecto de la hipoperfusión-hiperemia sobre las mediciones de la fuerza y la potencia.

**Palabras Clave:** función muscular, trabajo, potencia, flujo, sanguíneo

## INTRODUCCION

El éxito en la participación deportiva y en actividades de tipo recreativo requiere la combinación de fuerza y potencia tanto

del tren superior como del tren inferior. Las mediciones de la potencia del tren inferior más comúnmente utilizadas son la carrera de 40 yardas, el salto en largo y el salto vertical. El rendimiento en el salto vertical comúnmente es valorado a través de 1 salto vertical máximo. El salto vertical máximo es un buen indicador de la fuerza explosiva del tren inferior y provee cierta información acerca de la fuerza relativa (1, 15, 23-25). Sin embargo, la capacidad para ejecutar saltos verticales en forma repetida refleja las demandas de diversos eventos deportivos. Por lo tanto, la valoración de la potencia en saltos verticales repetidos puede ser un buen indicador del rendimiento deportivo. Existe un extenso cuerpo de literatura que describe la relación entre el flujo sanguíneo hacia los músculos esqueléticos y el rendimiento muscular. Se sabe que el incremento del flujo sanguíneo (2) o del contenido de oxígeno arterial (12) puede incrementar dramáticamente el rendimiento muscular durante el ejercicio. Reportes de nuestro laboratorio, utilizando contracciones voluntarias máximas isométricas repetidas con los músculos del antebrazo, sugieren que breves períodos de hipoperfusión muscular seguidos de hiperemia (hipoperfusión – hiperemia) reducen la fatiga de los músculos esqueléticos (18). Estudios recientes llevados a cabo con animales (3, 6, 7, 19) también han mostrado que breves períodos de oclusión arterial en los músculos esqueléticos pueden de hecho proteger a los músculos del daño isquémico a largo plazo (9), un fenómeno denominado *pre-acondicionamiento* (20, 21). Aunque en forma especulativa, las alteraciones en el metabolismo muscular y/o en los mediadores vasoactivos tales como la adenosina, el óxido nítrico y la prostaciclina pueden proveer este efecto putativo. Como resultado de estos estudios preliminares, el propósito de esta investigación fue determinar si breves períodos de hipoperfusión seguidos por hiperemia podrían influenciar el rendimiento en una actividad múltiarticular y dinámica tal como el salto vertical. Un objetivo secundario de este estudio fue determinar si existen diferencias sexuales respecto del rendimiento en el salto vertical luego de la hipoperfusión – hiperemia.

| | Edad (años) | Talla (cm) | Peso (kg) |
|---|---|---|---|
| Hombres (n = 5) | 25 ± 3 | 174 ± 4 | 73 ± 6 |
| Mujeres (n = 5) | 24 ± 1 | 165 ± 3 | 59 ± 6 |

***Tabla 1.*** *Características físicas de los sujetos. Los datos están expresados como medias ± EEM.*

## METODOS

### Sujetos

Diez sujetos aparentemente sanos y entrenados en forma recreacional (hombres, n = 5; mujeres, n = 5) fueron voluntarios para participar en el presente estudio. Los métodos fueron aprobados por el Comité de Revisión Institucional. Todos los sujetos se reportaron al Laboratorio de Rendimiento Humano luego de evitar consumir cafeína, alcohol y/o realizar ejercicios en las 24 horas previas a la evaluación. Los sujetos fueron instruidos para que vistieran zapatillas y ropa de ejercicio que no fuera de *Lycra* (Spandex) (15, 16). Los sujetos fueron pesados con una precisión de 0.2 kg y su talla fue determinada con una precisión de 0.5 cm. Las características físicas de los sujetos se muestran en la Tabla 1.

### Protocolo

Luego de una breve instrucción referente al protocolo de los saltos, los sujetos realizaron saltos máximos repetidos, con estimulación verbal y a una tasa aproximada de 1.0 Hz (1 salto por segundo). Se realizaron dos pruebas experimentales: Prueba 1, prueba de control sin oclusión de la arteria femoral; y Prueba 2, una prueba con oclusión de la arteria femoral seguida por hiperemia (oclusión – hiperemia). Cada sujeto realizó ambos protocolos en orden aleatorio con una semana de separación entre las dos pruebas. La oclusión de la arteria femoral se llevó a cabo mediante esfingomanómetros bilaterales para las piernas colocados sobre la arteria femoral en la porción más superior del muslo con los sujetos en posición de pie. El esfingomanómetro fue inflado hasta una presión de 200 mm de Hg y se mantuvo inflado durante 90 segundos para provocar la oclusión arterial. El tiempo de oclusión fue establecido para inducir hiperemia sin llevar al sujeto al punto de disconfort. Se permitió una fase de hiperemia de 10 segundos antes del inicio de los 40 saltos verticales máximos repetidos. En la prueba en la que no se realizó la oclusión, los sujetos comenzaron asumiendo la posición de parados durante 90 segundos sin oclusión arterial.

### Determinación de la Altura del Salto Vertical

Los sujetos realizaron 40 saltos máximos repetidos en paralelo a una regla de 1.22 m en línea con un marcador colocado en el piso. La estimulación verbal dada a cada sujeto fue similar entre las pruebas. Se coloco un marcador rojo en el maleolo

medial para la determinación de la altura del salto. Los saltos verticales fueron registrados con una cámara digital Sony (Sony Corporation, Tokyo, Japan) y estos datos fueron almacenados en un disquete para los posteriores análisis. El programa Scion Image es un programa de procesamiento y análisis de imágenes que tiene la capacidad de realizar una calibración espacial para proveer mediciones reales de longitud y área. La altura de los saltos verticales (en centímetros) fue determinada para las repeticiones 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, y 40. La altura de cada salto fue calculada como la diferencia entre la altura del marcador colocado en el maleolo con el sujeto en posición neutral de pie y la altura del marcador en el pico del salto vertical, utilizando el modo de imagen detenida. La producción de potencia (P) fue calculada en watss a partir de la siguiente ecuación (1):

P en kilogramos por segundo = 2.21 (peso corporal en libras) × (raíz cuadrada de la altura en el salto vertical en metros)

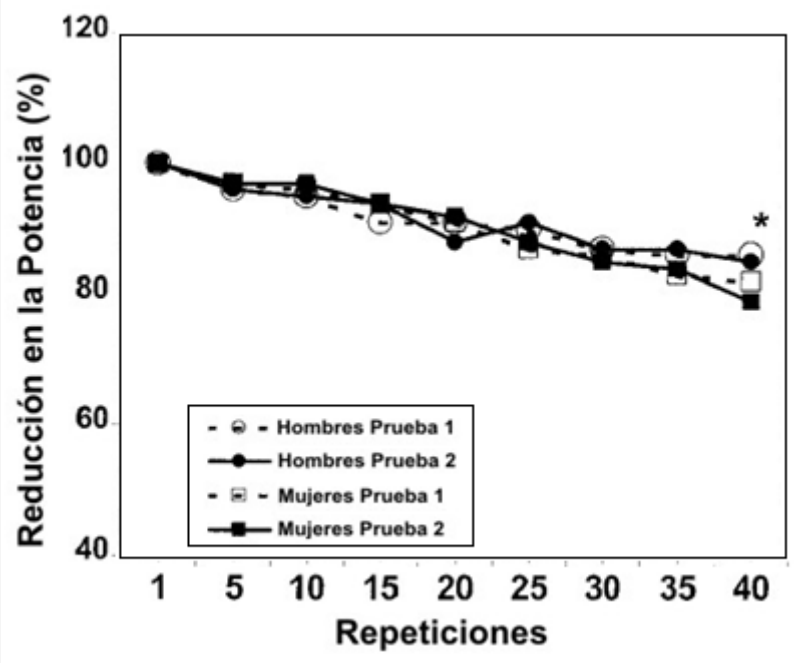


***Figura 1.*** *Declinación relativa en la producción de potencia durante la realización de saltos verticales repetidos en hombres (círculos) y mujeres (cuadrados) en la prueba 1, sin oclusión (-○-) y en la prueba 2 con oclusión – hiperemia (-●-). * Indica una reducción significativa en el rendimiento (20%) en ambos sexos. La oclusión no tuvo un efecto significativo en ninguno de los sexos.*

### Análisis Estadísticos

Para determinar la declinación relativa (porcentaje) en la producción de potencia se utilizó el análisis factorial mixto de 3 vías (sexo por repetición por prueba) para medidas repetidas. Todos los datos están expresados como medias ± EEM. El nivel α fue establecido a 0.05 para todos los análisis estadísticos.

## RESULTADOS

### Saltos Verticales Repetidos

La declinación relativa en la producción de potencia fue casi idéntica en hombres y mujeres. En ambos sexos, la producción de potencia se redujo en aproximadamente un 20% (Figura 1). Se observó un efecto significativo principal para las repeticiones ($p<0.001$), pero no se observó efecto principal o interacción significativa para el sexo o la oclusión ($p$ = NS). Por lo tanto, no se hallaron diferencias entre las pruebas tanto en hombres como en mujeres respecto de los efectos de la oclusión de la arteria femoral – hiperemia sobre el rendimiento relativo en los saltos verticales.

## DISCUSION

Para nuestro conocimiento, este fue el primer estudio en explorar los efectos de un breve período de hipoperfusión – hiperemia sobre el rendimiento en saltos verticales en sujetos adultos entrenados en forma recreacional. Aunque los limitados datos sugieren que el rendimiento durante contracciones voluntarias máximas con los músculos del antebrazo puede ser mejorado con un breve período de hipoperfusión – hiperemia, el rendimiento en el salto vertical no mejoró de la misma manera. Los resultados del presente estudio indican que con el protocolo de saltos verticales repetidos (40 repeticiones), la producción de potencia declinó aproximadamente un 20%. Este efecto fue independiente del sexo y no fue afectado por la hipoperfusión – hiperemia provocada por la oclusión de la arteria femoral. Estos resultados, con una pequeña muestra de hombres y mujeres de edad universitaria, proveen datos preliminares para la valoración del rendimiento en saltos verticales repetidos.

Solo unos pocos estudios han determinado los efectos de la fatiga sobre el rendimiento en un solo salto vertical (8, 24, 25). Smilios (24) midió la potencia durante la realización de saltos verticales luego de inducir la fatiga mediante la realización del ejercicio de prensa de piernas con cargas del 50, 30 y 10% de 1RM. El rendimiento en el salto vertical declinó concurrentemente con la producción de fuerza en el ejercicio de prensa de piernas (24). Estos resultados fueron similares a los resultados observados con nuestro protocolo de saltos repetidos en cuanto a que nosotros también observamos una declinación en la potencia durante el transcurso de los 40 saltos. Katch et al (14) hallaron que cuando utilizaron un cicloergómetro para inducir la fatiga, tanto el rendimiento en saltos verticales como en el ejercicio de sentadillas fue afectado en forma variable, sugiriendo que los efectos de la fatiga son dependientes del protocolo utilizado para inducirla.

Nuestra observación de la declinación en la potencia relativa en hombres y mujeres fue similar a la observada en otros modelos de inducción de fatiga (16). Kraemer et al (16) utilizaron un ejercicio modificado de la sentadilla para estudiar la fatiga de las piernas en hombres y mujeres y reportaron que la fatigabilidad relativa fue similar en ambos sexos. También se ha observado que hombres y mujeres desentrenados realizaron un número similar de repeticiones en el ejercicio de prensa de piernas con cargas del 600 y 80% de 1RM, sugiriendo que la fatigabilidad relativa no es específica del sexo (11). La declinación del 20% en la producción de potencia en el presente estudio fue linear y reproducible entre los sexos. Por lo tanto, los saltos verticales máximos repetidos pueden ser una metodología útil para evaluar atletas que realizan saltos verticales repetidos en forma frecuente. Debido a que el rendimiento en saltos verticales repetidos depende de la producción de ATP mediante la vía glucolítia en adición a la producción de ATP por medio de la fosfocreatina, este protocolo puede ser aplicable a los deportes que dependen de la vía glucolítica para los saltos verticales.

Recientemente hemos mostrado que breves períodos de hipoperfusión muscular seguidos de hiperemia incrementan la fuerza (observaciones no publicadas) y reducen la fatiga en los flexores de la muñeca (18). En estos estudios preliminares, las hiperemia post oclusión pudo haber provisto este efecto ergogénico estableciendo un mayor flujo de nutrientes o aumentando el lavado de los metabolitos asociados con el ejercicio. Hughson et al (13) han reportado que la respuesta del flujo sanguíneo hacia los músculos esqueléticos al comienzo del ejercicio afecta directamente el metabolismo oxidativo a través de alteraciones en el transporte de oxígeno. La hipoperfusión – hiperemia de los músculos esqueléticos también está asociada con la generación de proteínas de shock térmico, la activación de los sistemas antioxidantes y la producción de mediadores vasodilatadores tales como la adenosina, el óxido nítrico y las prostagandinas (4, 5, 10, 17, 22).

Sin embargo, en el presente estudio la breve hipoperfusión – hiperemia no afectó el rendimiento. Estas son varias posibles explicaciones para la falta de un efecto ergogénico de la hipoperfusión – hiperemia sobre el rendimiento en los saltos verticales. La arteria femoral, rodeada por una gran masa muscular, pudo no haber sido totalmente ocluida durante la fase de oclusión, minimizando por lo tanto, la amplitud de la hiperemia post oclusión. Nosotros seleccionamos una presión de oclusión de 200 mm de Hg durante 90 segundos para que el disconfort de los sujetos fuera el mínimo posible. La naturaleza multiarticular de las acciones musculares durante los saltos verticales también pudo haber limitado la prueba post oclusión debido a que solo la arteria femoral fue ocluida, mientras que los otros grupos musculares implicados en la acción de salto tales como los gluteos y los brazos fueron ocluidos (8, 15, 23). Los brazos desempeñan un rol importante en las fases de preparación e impulsión del salto actuando como palancas que propulsan el cuerpo hacia arriba (23). La acción de balanceo de los brazos, posterior a la extensión y previa a la fase de propulsión, contribuye en gran parte a la potencia generada durante el salto. El balanceo los brazos puede contribuir con el 10-40% de la potencia generada durante un salto vertical y reduce el impacto de la fuerza al hacer contacto con el piso (8, 23). Por último, el protocolo de saltos verticales repetidos fue realizado en aproximadamente 40 segundos. Debido a la naturaleza anaeróbica del protocolo, el cambio en el flujo sanguíneo mediante hipoperfusión – hiperemia pudo no haber sido una forma efectiva para mejorar el rendimiento. Las actividades que tienen una mayor dependencia de la producción aeróbica de ATP pueden beneficiarse en mayor medida de la manipulación del flujo sanguíneo. En nuestros estudios previos con los flexores de la muñeca utilizamos un protocolo de quince contracciones de 20 segundos con pausas de 10 segundos. El protocolo requirió de un tiempo total de 7.5 minutos. La vía energética principal en este protocolo fue la glucólisis aeróbica y como se esperaba, esta vía metabólica

está más afectada por las alteraciones en el flujo sanguíneo.

**Aplicaciones Prácticas**

Muchos deportes tales como el básquetbol y el voleibol requieren que los participantes ejecuten saltos verticales en forma repetida. El rendimiento en saltos verticales es comúnmente valorado mediante un único salto máximo. Un protocolo de evaluación con saltos verticales repetidos pude simular de mejor manera las necesidades de rendimiento de los atletas. Por lo tanto, los entrenadores de la fuerza pueden considerar la evaluación de sus atletas con saltos verticales repetidos ya que este tipo de protocolo estresa el suministro de energía por la vía anaeróbica en adición del metabolismo anaeróbico a corto plazo. Aunque es claro que la manipulación del flujo sanguíneo puede alterar el rendimiento muscular en ciertos modelos experimentales, se requiere de mucha más investigación en modelos específicos del deporte. El potencial efecto ergogénico de una breve hipoperfusión-hiperemia requiere de mayor clarificación.

## REFERENCIAS


1. Adams, G.M (1998). Exercise Physiology Laboratory Manual (3rd ed.). *Boston: McGraw-Hill*
2. Carroll, C., S. Carroll, M. Overgoor, G. Tobin, And J. Barker (1997). Acute ischemic preconditioning of skeletal muscle prior to flap elevation augments muscle-flap survival. *Plast. Reconstr. Surg. 100:58–65*
3. Dietz, N.M., K.A. Engelke, T.T. Samuel, R.T. Fix, And M.J. Joyner (1997). Evidence for nitric oxide mediated sympathetic forearm vasodilation in humans. *J. Physiol. (Lond.) 498:531–540*
4. Engeleke, K.A., J.R. Halliwill, D.Z. Proctor, N.M. Diez, And M.J. Joyner (1996). Contribution of nitric oxide and prostaglandins to reactive hyperemia in the human forearm. *J. Appl. Physiol. 81:1807–1814*
5. Gurke, L., A. Kuhrmeier, P. Sutter, J. Seelig, S. Martinoli, M. Heberer, And A. Marx (1996). Ischemic preconditioning improves post-ischemic function but not energy metabolism of skeletal muscles. *Ann. Ital. Chir. 67:253–255*
6. Gurke, L., A. Marz, P. Sutter, A. Frentzel, T. Salm, F.Harder, J. Seelig, And M. Heberer (1996). Ischemic preconditioning improves post ischemic skeletal muscle function. *Am. Surg. 62: 391–394*
7. Harman, E.A., M.T. Rosenstein, P.N. Frykman, And R.M. Rosenstein (1990). The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Med. Sci. Sports Exerc. 22:825–833*
8. Harris, A.G., R. Leiderer, F. Peer, And K. Messmer (1986). Skeletal muscle microvascular and tissue injury after varying durations of ischemia. *Am. J. Physiol. 271:H2388–H2398*
9. Hickner, R.C., J.S. Fisher, A.A. Ehsani, And W.M. Kohrt (1997). Role of nitric oxide in skeletal muscle blood flow at rest and during dynamic exercise in humans. *Am. J. Physiol. 273:H405–H410*
10. Hoeger, W.W.K., D.R. Hopkins, S.L. Barette, And D.F. Hale (1990). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: A comparison between untrained and trained males and females. *J. Appl. Sport Sci. Res. 4:47–54*
11. Hogan, M.C., And H.G. Welch (1986). Effect of altered arterial O2 tensions on muscle metabolism in dog skeletal muscle during fatiguing work. *Am. J. Physiol. 251:C216–C222*
12. Hughson, R.L., J.K. Shoemaker, M.E. Tschakovsky, And J.M. Kowalchuk (1996). Dependence of muscle VO2 on blood flow dynamics at onset of forearm exercise. *J. Appl. Physiol. 81:1619–1626*
13. Katch, F.I (1989). Cycling-induced fatigue and performance in vertical jump and isokinetic strength [Abstract]. *Med. Sci. Sports Exerc. Abstract 307*
14. Kraemer, W.J., J.A. Bush, J.A. Bauer, N.T. Triplett-Mcbride, N.J. Paxton, A. Clemson, L.P. Koziris, L.C. Mangino, A.C. Fry, And R.U (1996). Newton. Influence of compression garments on vertical jump performance in NCAA Division I volleyball players. *J. Strength Cond. Res. 10:180–183*
15. Kraemer, W.J., J.A. Bush, N.T. Triplett-Mcbride, L.P. Koziris L.C. Mangino, A.C. Fry, J.M. Mcbride, J. Johnston, J.S. Volek, C.A. Young, A.L. Gomez, And R.U (1998). Newton. Compression garments: Influence muscle fatigue. *J. Strength Cond. Res. 12:211–215*
16. Lawson, C.S., And J.M. Downey (1993). Preconditioning: state of the art myocardial protection. *Cardiovasc. Res. 27:542–550*
17. Libonati, J.R., M. Cox, N. Incanno, S.Melville, F.Musante, H.L. Glassberg, And M. Guazzi (1998). Brief periods of occlusion and reperfusion increase skeletal muscle force output in humans. *Cardiologia. 43:1355–1360*
18. Mattei, A., L. Gurke, A. Marx, K. Chaloupka, F. Harder, And M. Heberer (1997). Preconditioning with brief ischemia and reperfusion cycles improves ischemia tolerance of skeletal muscle in the rat. *Langenbecks Arch. Chir. 114:495–498*
19. Pang, C., P. Neligan, A. Zhong, W. He, H. Xu, And C. Forrest (1997). Effector mechanism of adenosine in acute ischemic preconditioning of skeletal muscle against infarction. *Am. J. Physiol. 273:R887–R895*
20. Pang, C., R. Yang, A. Zhong, N. Xu, B. Boyd, And C. Forrest (1995). Acute ischemic preconditioning protects against skeletal muscle infarction in the pig. *Cardiovasc. Res. 29:782–788*
21. Robergs, R.A., M.V. Icenogle, T.L. Hudson, And E.R. Greene (1997). Temporal inhomogenicity in brachial artery blood flow during forearm exercise. *Med. Sci. Sports Exerc. 29:1021–1027*
22. Shetty, A.B., And B.R. Etnyre (1989). Contribution of arm movement to the force components of a maximum vertical jump. *J. Orthop. Sports Phys. Ther. 11:198–201*
23. Smilios, I (1998). Effects of varying levels of muscular fatigue on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res. 12:204–208*

24. Wagner, D.R., And M.S. Kocak (1997). A multivariate approach to assessing anaerobic power following a plyometric training program. *J. Strength Cond. Res. 11:251255*

**Cita Original**

Howell, A.K., J.P. Gaughan, M.A. Cairns, A.D. Faigenbaum, and J.R. Libonati. The effect of muscle hypoperfusion-hyperemia on repetitive vertical jump performance. J. Strength Cond. Res. 15(4):446449. 2001