

Article

Efectos Fisiológicos y Hemodinámicos del Entrenamiento con Restricción de Flujo Sanguíneo en Cuádriceps

Márcio Rabelo Mota^{1,2}, Julia Ester Cavalcante da Fonseca³, Samuel Barbosa Mezavila Abdelmur³, Mateus Medeiros Leite³, Alessandro Oliveira Silva³, Renata Aparecida Elias Dantas³ y Sacha Clael³

¹Centro Universitario de Brasilia - UniCEUB, Brasilia, Brasil

²Centro Universitario de Anápolis - UniEVANGÉLICA, Anápolis, Goiânia

³Facultad de Educación Física, Universidad de Brasilia- UnB, Brasilia, Brasil

RESUMEN

El propósito de este estudio fue verificar los efectos fisiológicos y hemodinámicos de la restricción de flujo sanguíneo (BFR) en el ejercicio de sentadilla. Treinta hombres sanos y físicamente activos fueron asignados aleatoriamente a tres grupos diferentes: (a) baja intensidad con BFR (BI) (media \pm DE, edad $27,20 \pm 6,89$ años, altura $175 \pm 0,77$ cm, masa $82,43 \pm 16,28$ kg); (b) alta intensidad sin BFR (AI) (media \pm DE, edad $24,50 \pm 6,00$ años, altura $179 \pm 0,70$ cm, masa $78,68 \pm 8,14$ kg); y (c) control (CON) (media \pm DE, edad $21,20 \pm 2,70$ años, altura $178 \pm 0,75$ cm, masa $79,76 \pm 10,52$ kg). Se determinó el doble producto, el lactato, la saturación de oxígeno, la presión arterial sistólica y la presión arterial diastólica en tres momentos: (a) pre-ejercicio; (b) inmediatamente después del ejercicio; y (c) 15 minutos después del ejercicio. No hubo una diferencia significativa entre los grupos, a excepción de la saturación de oxígeno. Si por alguna razón una persona no puede realizar un esfuerzo máximo, los hallazgos indican que se puede utilizar la baja intensidad con BFR para obtener los mismos resultados que el entrenamiento de alta intensidad.

Palabras Clave: Restricción de Flujo Sanguíneo, Efectos Hemodinámicos, Efectos Fisiológicos, Entrenamiento

INTRODUCCIÓN

Se sabe que a mayor esfuerzo físico semanal menor es el riesgo de muerte por infarto de miocardio (5). El entrenamiento de fuerza de alta intensidad (EF) se considera como una de las principales estrategias en la prevención de enfermedades cardiovasculares, y se ha demostrado como uno de los factores para mejorar la prevención primaria y secundaria de enfermedades (5). Además de las ventajas hemodinámicas y el menor riesgo de muerte, el EF de alta intensidad también mejora los factores fisiológicos.

Sin embargo, es evidente que las personas con alguna patología o algún tipo de lesión están limitadas biomecánicamente cuando realizan un esfuerzo máximo. Debido a esto, los japoneses desarrollaron una técnica de EF para que las personas con una limitación para el esfuerzo máximo puedan tener los mismos beneficios que aquellos que entrenan a alta

intensidad. Por ejemplo, se pretende que el entrenamiento de Kaatsu o EF de baja intensidad con restricción de flujo sanguíneo (BFR) (4,5) proporcione beneficios de EF de alta intensidad.

El EF de baja intensidad combinado con BFR altera diversos factores hemodinámicos y fisiológicos en el cuerpo humano, como el doble producto (DP), el lactato (La), la saturación de oxígeno (O₂), la presión arterial sistólica (PAS) y la presión arterial diastólica (PAD) (5,6,11). Además de ser una técnica utilizada para la mejora cardiovascular y en algunos casos para rehabilitación (6,7), la técnica de Kaatsu también beneficia la resistencia y la capacidad de generación de fuerza.

Ya se sabe que el EF con BFR puede generar hipertrofia y algunos cambios hemodinámicos (7,8,11,13), pero se han realizado pocos estudios con grandes grupos musculares. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es verificar los efectos fisiológicos y hemodinámicos de la oclusión vascular en el ejercicio de sentadilla.

MÉTODOS

Sujetos

Los sujetos en este estudio consistieron en 30 hombres que eran físicoculturistas recreativos sanos y físicamente activos durante al menos 6 meses. No tenían complicaciones metabólicas ni problemas osteomioarticulares (Tabla 1). Diez sujetos fueron ubicados aleatoriamente en tres grupos diferentes: (a) baja intensidad con BFR (BI); (b) alta intensidad sin BFR (AI); y (c) control (CON).

Procedimientos

Los sujetos hicieron cuatro visitas al UniCEUB con un intervalo de 48 horas. El tiempo se estandarizó de 11:00 a.m. a 12:00 a.m. para minimizar las variaciones circadianas. El primer día fue para firmar un formulario de consentimiento y para la caracterización de la muestra, el segundo día fue para el test de 1RM, el tercer día para volver a probar 1RM y familiarizarse con el protocolo, y el cuarto día consistió en llevar a cabo el entrenamiento. El grupo de control visitó el UniCEUB dos veces. La primera visita fue para la caracterización de la muestra y la segunda consistió en la recolección de datos en reposo.

Para caracterizar la muestra, la edad de los sujetos en años, la estatura y el peso se midieron al más cercano de 0 a 5 cm y de 0 a 1 kg, respectivamente, usando un estadiómetro y una balanza de Filizola® (Indústria Filizola S/A, Brasil). El índice de masa corporal (IMC) se calculó en kilogramos y metro cuadrado, el porcentaje de grasa se determinó usando los 7 pliegues cutáneos de la fórmula Jackson y Pollock (9) y Siri (10) (Tabla 1). El test de 1RM y la repetición del mismo, se realizaron utilizando el protocolo de Uchida et al. (11). El protocolo de 1RM se usó para predeterminar la carga que se utilizó en el día del entrenamiento, el 30% de 1RM para el grupo BI y el 70% de 1RM para el grupo AI.

El protocolo de entrenamiento utilizado fue adaptado de Araújo et al. (1) y el ejercicio fue la sentadilla. El grupo BI realizó 6 series, de 10 a 15 repeticiones con un intervalo de recuperación de 90 segundos al 30% de 1RM. La BFR se realizó bilateralmente con una presión entre 140 y 160 mmHg utilizando el equipo Kaatsu Master (Kaatsu Global Inc., EEUU). El equipo se instaló con el soporte individual, posicionándose en la parte proximal de los muslos justo debajo del pliegue glúteo y el ligamento inguinal. El grupo AI realizó 6 series, de 10 a 15 repeticiones con un intervalo de recuperación de 90 segundos al 70% de 1RM.

Cuando los sujetos llegaron al laboratorio, permanecieron en reposo durante 15 minutos para recoger las siguientes variables: (a) presión arterial sistólica (PAS) y presión arterial diastólica (PAD) utilizando el método de auscultación con resultados expresados en milímetros de mercurio (mmHg); (b) Doble Producto (DP) (1); (c) Oximetría (MD por Rossmax, SB100, Taiwán); y (d) Lactato (ROCHE DIAGNOSTICS, Accutrend Lactate, EEUU). Las mediciones se tomaron en el momento pre-entrenamiento (T0), inmediatamente después del entrenamiento (T1) y después de la recuperación de 15 minutos (T2). Esta investigación fue aprobada por el comité de ética del Centro Educativo Universitario de Brasilia (CEUB), y todos los sujetos firmaron el formulario de consentimiento informado.

Análisis Estadísticos

Todos los análisis se realizaron usando el SPSS 22 (IBM Corporation, Armonk, NY, EEUU, 24.0). La normalidad de los datos se verificó con la prueba de Shapiro-Wilk. Se utilizó un ANOVA factorial mixto 3 x 3 para evaluar la PAS, la PAD, el DP, la oximetría y el lactato. El *post-hoc* de Bonferroni se usó para verificar las diferencias entre los grupos. Se adoptó $P \leq 0,05$ como el nivel de significación estadística.

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra la media y la desviación estándar de los datos de caracterización de la muestra divididos por grupos.

Tabla 1. Datos Descriptivos de los Sujetos.

	BI (n = 10)	AI (n = 10)	Control (n = 10)
Edad (años)	27,20 ± 6,89	24,50 ± 6,00	21,20 ± 2,70
Peso (kg)	82,43 ± 16,28	78,68 ± 8,14	79,76 ± 10,52
Altura (m)	1,75 ± 0,77	1,79 ± 0,70	1,78 ± 0,75
IMC (kg·m ⁻²)	26,26 ± 3,18	24,57 ± 2,18	25,20 ± 3,13
Grasa Corporal (%)	14,20 ± 5,30	13,33 ± 5,12	15,72 ± 6,01

IMC = Índice de Masa Corporal, **AI** = Grupo de Alta Intensidad, **BI** = Grupo de Baja Intensidad, **CON** = Grupo de Control, **kg** = kilogramos, **m** = metros, **%** = porcentaje

La Tabla 2 presenta las medias ± desviaciones estándar de las mediciones fisiológicas en los tres momentos.

Tabla 2. Comparación Fisiológica entre los Tres Momentos

	BI	AI	CON	BI	AI	CON	BI	AI	CON
DP	8994,80 ± 2254,78	9252,40 ± 1406,33	7110,80 ± 961,14 † §	22927,28 ± 3587,40*	26271,80 ± 4310,95*	7386,00 ± 1419,76 † §	11390,70 ± 3318,35* †	10520,10 ± 2423,95* †	7019,20 ± 1134,32 † §
	2,21 ± 0,83	2,32 ± 0,73	4,67 ± 0,80 † §	7,66 ± 3,04*	9,37 ± 2,83*	4,05 ± 1,22 † §	5,82 ± 1,37*	6,06 ± 2,22* †	3,39 ± 0,87 † §
O₂	96,00 ± 1,56	94,80 ± 0,92	96,60 ± 1,50 §	93,60 ± 0,84*	95,90 ± 1,91 †	97,40 ± 1,43 †	95,00 ± 0,47	95,60 ± 2,46	95,40 ± 2,41
PAS	124,50 ± 9,12	122,90 ± 8,70	116,50 ± 4,33	158,80 ± 19,19*	160,60 ± 18,56*	118,00 ± 4,21 † §	125,30 ± 18,02 †	116,80 ± 8,93 †	114,60 ± 5,00
PAD	65,00 ± 6,53	67,70 ± 8,56	67,20 ± 4,39	69,90 ± 9,42	72,50 ± 7,72	66,00 ± 7,00	71,20 ± 8,88*	67,70 ± 5,83	65,00 ± 5,27

T0 = pre-test, **T1** = post-test, **T2** = 15 minutos después del test, **AI** = Grupo de Alta Intensidad, **BI** = Grupo de Baja Intensidad, **CON** = Grupo de Control, **DP** = Doble Producto, **La** = Lactato, **O₂** = Oximetría, **PAS** = Presión Arterial Sistólica, **PAD** = Presión Arterial Diastólica, *Diferencia Significativa Intragrupo con respecto a T0 (P≤0,05). †Diferencia Significativa Intragrupo con respecto a T2 (P≤0,05). §Diferencia Significativa con respecto a BI (P≤0,05), §Diferencia Significativa con respecto a AI (P≤0,05)

Entre los grupos BI y AI no hubo diferencia estadísticamente significativa en ningún momento (P>0,05) en DP, lactato, PAS

y PAD. En el momento T1, la oximetría fue significativamente menor en el grupo BI en comparación con el grupo AI ($P=0,005$).

DISCUSIÓN

El presente estudio examinó los efectos agudos del ejercicio de sentadilla realizado con y sin BFR en el DP, el La, la oximetría, la PAS y la PAD en sujetos jóvenes normotensos. El principal hallazgo fue que solo había una diferencia significativa entre los grupos en la variable de oximetría.

La isquemia causada por la BFR puede generar un aumento en la concentración de metabolitos que estimula la hipertrofia muscular y una menor vasodilatación (6,11). Aunque el grupo BI tuvo un resultado significativamente menor en el momento T1 para la O₂ que el grupo AI, no hubo diferencia significativa entre los grupos de ejercicio en el momento T2 para el La. Nuestros resultados concuerdan con el estudio de Tanimoto et al. (11) quienes encontraron una diferencia significativa en el momento post-ejercicio y 15 minutos después del ejercicio en relación con el momento pre-ejercicio.

Además de los factores antes mencionados, una reducción en la O₂ causada por la BFR puede alterar la oxigenación intramuscular, aumentar la concentración metabólica (por ejemplo, el La) que produce un ambiente más ácido y anabólico además de reducir el pH y aumentar la presión sanguínea a través del reflejo metabólico muscular (5,8,13).

Los protocolos de ejercicio promovieron un aumento en el DP en los momentos T1 y T2, pero no se observaron diferencias entre los protocolos. Los resultados de Tanimoto et al. (11) y Vieira et al. (13) están de acuerdo con el presente estudio. Para aplicaciones prácticas de esta variable, quizás lo importante es llegar al agotamiento con o sin BFR.

Los cambios en la PAS y la PAD se explican por el esfuerzo máximo durante los protocolos, en los que se redujo el suministro de oxígeno de los músculos, causando acumulación de metabolitos locales, estimulación de quimiorreceptores, aumento de la FC y contractilidad cardíaca (8). Sin embargo, es posible que los individuos no hayan realizado un esfuerzo máximo, ya que la PAD en el momento T1 no mostró una diferencia significativa en relación con el momento T0 en ambos grupos de ejercicios.

Este resultado va en contra de los hallazgos de Neto et al. (7) que encontraron una diferencia significativa en la PAS del pre-ejercicio y de 20 min después del ejercicio en el protocolo de alta intensidad, así como el pre-ejercicio con 10 y 20 min después del ejercicio en la PAD en el protocolo de baja intensidad con BFR. Los hallazgos de Neto et al. (7) están de acuerdo con Maior et al. (3) quienes encontraron diferencias significativas entre el post-ejercicio y el reposo tanto en la PAS como en la PAD en ambos grupos de ejercicios.

Neto et al. (7) también encontraron una diferencia significativa en la PAS, pero solo después de 30 minutos de descanso post-ejercicio en el grupo que se sometió a entrenamiento de baja intensidad con BFR, lo que va en contra de nuestro estudio que encontró esta diferencia inmediatamente después del ejercicio. Tal vez el protocolo utilizado por Neto et al. (7) no fue el más apropiado, teniendo en cuenta que el estudio utilizó extremidades superiores e inferiores, músculos agonistas y antagonistas.

Los resultados de la PAS en ambos grupos de ejercicio en T2 fueron significativamente menores en relación con T1. Este hallazgo puede explicarse debido a un aumento de la óxido nítrico sintasa que promueve cambios positivos en el endotelio (7). O bien, también podría deberse a la disminución del gasto cardíaco que no fue completamente compensado por el aumento de la resistencia vascular periférica sistémica (3,9).

El presente estudio encontró que el lactato fue significativamente mayor en ambos grupos de ejercicio en los momentos T1 y T2 en comparación con T0. La acumulación de lactato está relacionada con la liberación de la hormona de crecimiento y la hipertrofia muscular (8,11). Las personas que por alguna razón no pueden entrenar intensamente pueden usar una intensidad más baja con BFR para producir los mismos beneficios.

Vieira et al. (13) encontraron cambios hemodinámicos similares en sujetos jóvenes y mayores. Pero, como señalaron los investigadores, no sabrían si sería posible extrapolar tales hallazgos a grandes grupos musculares. Nuestro estudio ha confirmado tales hallazgos en jóvenes con el segundo ejercicio que más músculos recluta, la sentadilla (12).

Algunos resultados que no fueron significativos deben haber ocurrido debido a la elección de los protocolos de intensidad, o incluso al ejercicio elegido, que exige un gran esfuerzo físico (5). De este modo, la comparación de resultados en el área de investigación de la BFR es una tarea difícil, ya que diferentes investigadores usan distintos protocolos, ya sea en el ejercicio, en la intensidad o en los momentos de las variables recolectadas. Se sugiere para futuros estudios que haya

recolección de la saturación de oxígeno para la confirmación de la BFR, la identificación de diferentes ejercicios y la formalización de un tipo de protocolo con BFR.

CONCLUSIONES

El ejercicio de sentadilla con o sin BFR mejoró las variables hemodinámicas de los sujetos y aumentó la producción de subproductos metabólicos durante el ejercicio. Por alguna razón, por lo tanto, si una persona no puede realizar un ejercicio de alta intensidad, entonces se puede usar un ejercicio de baja intensidad con BFR para obtener los mismos resultados que un ejercicio de alta intensidad.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al "Centro Universitario de Brasilia, UniCEUB" por su notable apoyo en este artículo.

Dirección de correo: Professor Sacha Clael, Faculty of Physical Education, University of Brasília, Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brazil, Email: sachael@hotmail.com

REFERENCIAS

1. Araujo DF, Alves AR, Abdelmur SBM, Pardono E, Mota APVS, Dantas RAE, et al. (2017). Resposta lactacidemica da suplementacao de creatina e do uso de calca de compressao no exercicio de agachamento. *Coleção Pesquisa em Educação Física*. 2017;16.
2. Jackson AS, Pollock ML. (2007). Generalized equations for predicting body density of men. *Brit J Nutri*. 2007;40(3):497-504.
3. Maior AS, Simão R, Martins MSR, et al. (2015). Influence of blood flow restriction during low-intensity resistance exercise on the postexercise hypotensive response. *J Strength Cond Res*. 2015;29(10).
4. Manini TM, Clark BC. (2009). Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc Sport Sci Rev*. 2009;37:78-85.
5. Neto GR, Novaes JS, Dias I, Brown A, Vianna J, Cirilo-Sousa MS. (2017). Effects of resistance training with blood flow restriction on haemodynamics: A systematic review. *Clin Physiol Funct Imag*. 2017;37(6):567-574.
6. Neto GR, Sousa MSC, Costa e Silva GV, Gil ALS, Salles BF, Novaes JS. (2016). Acute resistance exercise with blood flow restriction effects on heart rate, double product, oxygen saturation and perceived exertion. *Clin Physiol Funct Imag*. 2016;36(1):53-59.
7. Neto GR, Sousa MSC, Costa PB, Salles BF, Novaes GS, Novaes JS. (2015). Hypotensive effects of resistance exercises with blood flow restriction. *J Strength Cond Res*. 2015;29(4).
8. Poton R, Polito MD. (2016). Hemodynamic response to resistance exercise with and without blood flow restriction in healthy subjects. *Clin Physiol Funct Imag*. 2016;36(3):231-236.
9. Rezk CC, Marrache RCB, Tinucci T, Mion D, Forjaz CLM. (2006). Post-resistance exercise hypotension, hemodynamics, and heart rate variability: Influence of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol*. 2006;98(1):105-112.
10. Siri WE. (1956). Body Composition from Fluid Spaces and Density: Analysis of Methods. *University of California, Berkeley, Ca: Lawrence Radiation Laboratory*, 1956;1-33.
11. Tanimoto M, Madarame H, Ishii N. (2005). Muscle oxygenation and plasma growth hormone concentration during and after resistance exercise: Comparison between "KAATSU" and other types of regimen. *Intern J KAATSU Train Res*. 2005;1(2):51-56.
12. Uchida MC, Charro MA, Bacurau RFP, Navarro F, Pontes FL. (2013). Manual de Musculação: Uma Abordagem Teórico-Prática do Treinamento de Força. (7th Edition). São Paulo
13. Vieira PJC, Chiappa GR, Umpierre D, Stein R, Ribeiro JP. (2013). Hemodynamic responses to resistance exercise with restricted blood flow in young and older men. *J Strength Cond Res*. 2013;27(8).

Cita Original

Mota MR, Fonseca JEC, Abdelmur SBM, Leite MM, Silva AO, Dantas RAE, Clael S. Efectos Fisiológicos y Hemodinámicos del Entrenamiento con Restricción de Flujo Sanguíneo en Cuádriceps. *JEPonline* 2018; 21(3):79-85.