



apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ORIGINAL

Parámetros de rendimiento de fuerza mediante la adopción de diferentes secuencias de ejercicios durante series emparejadas agonista-antagonista

Marianna de Freitas Maia, Gabriel Andrade Paz, João Souza, Humberto Miranda*

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Educação Física e Desportos, Rio de Janeiro, Brasil

Recibido el 14 de septiembre de 2014; aceptado el 12 de enero de 2015

PALABRAS CLAVE

Entrenamiento de resistencia;
Rendimiento de fuerza;
Electromiografía

Resumen

Objetivo: Investigar el efecto de distintas secuencias de ejercicios de series emparejadas de los músculos agonistas/antagonistas sobre el volumen del entrenamiento, la percepción subjetiva del esfuerzo y la activación muscular.

Material y método: Trece deportistas de recreación, hombres, fueron voluntariamente sometidos a este estudio. Se aplicaron 2 protocolos en 2 días no consecutivos. Protocolo BR: los participantes realizaron 3 series de ejercicios de press de banca (PB) hasta el agotamiento (con carga de 8 repeticiones máximas) seguidas del ejercicio de remo sentado (RS), alternadamente. Protocolo RB: el remo sentado se realizó antes del PB. Se adoptó un intervalo de recuperación de 2 min entre repeticiones y ejercicios. Durante los 2 ejercicios se anotaron el número de repeticiones y la señal electromiográfica de los músculos deltoides posterior (DP), del biceps braquial (BB), del pectoral mayor (PM) y del tríceps braquial (TB).

Resultado: No se encontraron diferencias significativas en el volumen de entrenamiento ($1.486,6 \pm 200,3$; $1.492 \pm 282,5$) y del trabajo total ($22,3 \pm 1,3$; 22 ± 2) entre las secuencias BR y RB, para PB, respectivamente. Se observó un volumen de entrenamiento ($1.709,7 \pm 177,6$; $1.424,4 \pm 196$) y del trabajo total ($25,3 \pm 1,8$; $21 \pm 1,6$) superiores en el RS en la secuencia BR, comparado con RB.

Conclusión: La secuencia del ejercicio mostró diferencias significativas en el rendimiento de fuerza y activación muscular de los agonistas durante las series emparejadas agonista-antagonista en el ejercicio de RS. Estos resultados indican que la precarga de los antagonistas puede generar un efecto potencial para favorecer el rendimiento de los músculos dorsales.

© 2014 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: humbertomirandaufrij@gmail.com (H. Miranda).

KEYWORDS

Resistance training;
Strength performance;
Electromyography

Strength performance parameters when adopting different exercise sequences during agonist-antagonist paired sets

Abstract

Objective: To investigate the effect of different exercise sequences during agonist-antagonist paired sets on training volume, ratings of perceived exertion, and muscle activation.

Material and methods: Thirteen recreationally trained males participated in this study. Two protocols were adopted in two non-consecutive days. BS — participants performed three repetition to failure sets (with 8 repetition maximum loads) of bench-press (BP) followed by seated row exercise in alternate manner. SB — the seated row (SR) was performed before bench press. Two-minute rest interval was adopted between sets and exercises. The number of repetitions and electromyography signals of the posterior deltoids (PD), biceps brachii (BB), pectoralis major (PM), and triceps brachii (TB) muscles were recorded during both exercises.

Results: No significant differences were noted in training volume (1486.6 ± 200.3 ; 1492 ± 282.5) and total work (22.3 ± 1.3 ; 22 ± 2) BS and SB sequences for BP, respectively. Higher training volume (1709.7 ± 177.6 ; 1424.4 ± 196) and total work (25.3 ± 1.8 ; 21 ± 1.6) were noted for SR under BS compared to SB. Higher PD activation was noted during SR under BS compared to SB.

Conclusion: The exercise sequence showed significant differences in strength performance and agonist muscle activation during agonist-antagonist paired sets for SR exercise. These results suggest that antagonist pre-loading may have a potential effect on back muscles.

© 2014 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

El entrenamiento de resistencia ha sido ampliamente utilizado como método eficaz para el desarrollo de la fuerza, la resistencia y/o el rendimiento de la fuerza de los deportistas o de la población en general¹. La administración de la intensidad y volumen de entrenamiento son esenciales para incrementar los resultados de los programas de entrenamiento de resistencia²⁻⁴. El volumen de entrenamiento (series \times repeticiones \times carga externa) normalmente es calculado por los entrenadores y deportistas durante las sesiones de entrenamiento de resistencia, para incrementar el aumento de fuerza de forma intensa y/o persistente⁵.

A menudo se han aplicado distintos sistemas de entrenamiento con el fin de gestionar su volumen. Uno de estos sistemas de entrenamiento que puede alcanzar su objetivo en un breve período de tiempo (eficiencia) sin comprometer la eficacia (volumen de entrenamiento)⁶ consiste en las series emparejadas (SE) agonista-antagonista (PS, *paired set*, en inglés). El entrenamiento SE se caracteriza por la realización de ejercicios de los músculos agonistas y antagonistas alternadamente, con o sin intervalos de descanso entre series y ejercicios⁷. Evidencias anteriores han sugerido que el entrenamiento SE facilita un rendimiento de fuerza similar o superior al entrenamiento tradicional ST (TS, *traditional set*, en inglés), con una reducción significativa de la duración de la sesión de entrenamiento^{6,8-9}.

Robbins et al.⁷ observaron un volumen de entrenamiento similar entre ST (con un intervalo de descanso de 4 min en-

tre series y ejercicios) y entrenamiento SE (con un intervalo de descanso de 2 min) en los ejercicios de tracción y press de banca con cargas de 4 repeticiones máximas (RM). Sin embargo, Robbins et al.⁷, considerando la duración de la sesión de entrenamiento, observaron una mayor eficiencia (volumen de entrenamiento/tiempo) en SE, en comparación con ST. Recientemente, Maia et al.⁹ han hallado un aumento significativo del rendimiento en la repetición y los datos electromiográficos (EMG) del vasto medial y del recto femoral durante la extensión de rodillas en la máquina, seguido del ejercicio del curl femoral (con cargas de 10 RM), comparándolo con la serie de ejercicios de extensión de rodillas en máquina realizado sin precarga antagonista. Resultados similares fueron reportados por Paz et al.¹⁰, quienes observaron un mayor rendimiento en la repetición y la activación muscular del dorsal ancho y del bíceps braquial en ejercicios de remo sentado (cargas de 10 RM) inmediatamente después de los ejercicios de press de banca, en comparación con la serie de remo sentado sin precarga antagonista. Teniendo en cuenta el efecto del orden de los ejercicios durante la serie emparejada agonista-antagonista, Balsamo et al.⁸ observaron un mayor volumen de entrenamiento e índices más bajos de esfuerzo percibido (RPE) tras una sesión de SE con curl femoral seguido de ejercicios de resistencia de extensión de rodillas en máquina (con cargas de 10 RM), en comparación con la extensión de rodillas realizada antes del ejercicio de curl femoral. Estos datos sugieren que el orden de los ejercicios en el entrenamiento SE puede incentivar una interferencia significativa en el rendimiento de fuerza.

Distintos estudios han manifestado que el orden de los ejercicios proporciona un impacto significativo en el rendimiento de la repetición durante los programas de entrenamiento de resistencia^{3-4,11}. No obstante, el efecto del orden de los ejercicios de entrenamiento SE sobre la activación muscular y el rendimiento de la fuerza aún no son suficientemente claros. Estas evidencias pueden ser útiles a practicantes y entrenadores que quieren mejorar los resultados de la fuerza y reducir también la duración de las sesiones de entrenamiento. Por tanto, el propósito de este estudio fue investigar el efecto del entrenamiento SE i compararlo con el ST en volumen de entrenamiento, RPE y actividad muscular del pectoral mayor, bíceps braquial, tríceps braquial i deltoides posterior.

Material y métodos

Participantes

Trece deportistas de recreación entrenados, hombres, fueron reclutados en una universidad local mediante muestreo de conveniencia, con la siguiente mediana (\pm desviación estándar [DE]) y características: edad = 22,1 \pm 1,2 años, altura = 173 \pm 5,2 cm, peso = 74,6 \pm 5,1 kg, y porcentaje de grasa corporal = 11,4% \pm 2,1%; experiencia en entrenamiento de resistencia = 3,1 \pm 1 años. Los criterios de inclusión fueron: tener por lo menos un año de experiencia en entrenamiento de resistencia, con una mediana de 4 sesiones de 60 min por semana, con un intervalo de descanso de 1 a 2 min entre series y ejercicios. Los criterios de exclusión fueron: tener alguna limitación funcional o enfermedad que pudiera influir en su capacidad para realizar pruebas o protocolos experimentales. También se excluyeron los que habían realizado ejercicios de las extremidades superiores 48 h antes de cada sesión. Este estudio fue aprobado por el comité institucional de experimentación con humanos de la universidad. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los participantes antes de las pruebas, de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

Procedimientos

El presente estudio utilizó un diseño cruzado aleatorizado compuesto de 4 visitas realizadas en días no consecutivos, con 48 a 72 h de intervalo de descanso. Todas las pruebas tuvieron lugar a la misma hora del día, y los participantes fueron informados de que debían evitar todo tipo de esfuerzo durante el periodo de sesiones del test. Las 2 primeras sesiones del test se dedicaron a mediciones de fuerza y antropometría. Los datos antropométricos fueron medidos siguiendo el protocolo de Jackson y Pollock¹².

Test de ocho repeticiones máximas (8 RM)

En cada una de estas sesiones, la fuerza fue valorada mediante un test de 8 RM con ejercicios de press de banca con agarre ancho en máquina de sentado (Life Fitness, Rosemont, IL, EE. UU.). El test de 8 RM se realizó a un ritmo constante (2 s por acciones concéntricas y 2 por excéntricas) y fue controlado con un metrónomo (Metronome Plus

2.0, M & M Systeme, Alemania)¹³. Si el participante no alcanzaba las 8 repeticiones en el primer intento, se ajustaba el peso de 4 a 10 kg y se le daba un mínimo de 5 min de descanso antes del siguiente intento. Se adoptaron intervalos de descanso de 10 min entre ejercicios para poner a prueba cargas de 8 RM. Durante el test y retest se alternaban los ejercicios de press de banca y remo sentado. Solo se permitieron 3 intentos por sesión de test. Las sesiones de test y retest se realizaron con intervalos de 48 h (fig. 1).

Series de ejercicios

En la tercera y cuarta convocatoria se asignaron aleatoriamente las series a los participantes. Los participantes BR realizaron 3 series emparejadas de press de banca hasta el agotamiento, seguidas del ejercicio de remo sentado con cargas de 8 RM, con un intervalo de descanso de 2 min entre series y ejercicios. Los participantes RB realizaron la repetición de 3 series emparejadas de remo sentado hasta el agotamiento, seguidas de ejercicios de press de banca con cargas de 8 RM, con un intervalo de descanso de 2 min entre series y ejercicios. Antes de cada protocolo, los participantes realizaron una serie de calentamiento de 15 repeticiones con un 50% de la carga de 8 RM en el primer ejercicio, seguido de un intervalo de descanso de 2 min, antes de iniciar los protocolos experimentales¹⁴. En cada protocolo se evaluaron el número de repeticiones y la actividad electromiográfica (EMG) de los músculos deltoides posterior (DP), bíceps braquial (BB), pectoral mayor (PM) i tríceps braquial (TB) durante los ejercicios de remo sentado y press de banca.

Procedimientos de valoración del esfuerzo percibido

Durante los protocolos experimentales, antes de realizar los ejercicios los participantes recibieron instrucciones y el procedimiento de anclaje de la escala de esfuerzo percibido OMNI-RES¹⁵. Las instrucciones también incluyeron la naturaleza y el uso de las escalas OMNI-RES, índices diferenciados y cómo utilizar las categorías numéricas alta y baja como puntos de anclaje de la escala. El procedimiento de anclaje de la escala proporciona al sujeto la apreciación de la gama de percepciones que se corresponde con las del índice de las categorías baja y alta. Los procedimientos de anclaje permiten a los sujetos conocer los 2 extremos del RPE: índice 1 (muy fácil) e índice 9 (muy duro). En nuestro estudio, el anclaje del índice se dio al final de cada serie de ejercicios realizada en press de banca y de remo sentado.

Electromiografía de superficie

La señal EMG fue capturada con electrodos de superficie bipolares pasivos (Kendal Medi Trace 200, Tyco Healthcare, Pointe-Claire, Canadá) mediante el proceso de adquisición de datos del modelo PS850 (Biometrics, Newport, Reino Unido). Las señales fueron amplificadas por 1.000 (CMRR > 100 dB) y muestreadas a 1.000 Hz después de ser transferidas por un filtro paso banda (10-500 Hz). Con el fin de evitar las limitaciones dinámicas del EMG se tomaron determinadas precauciones, como la colocación y ubicación

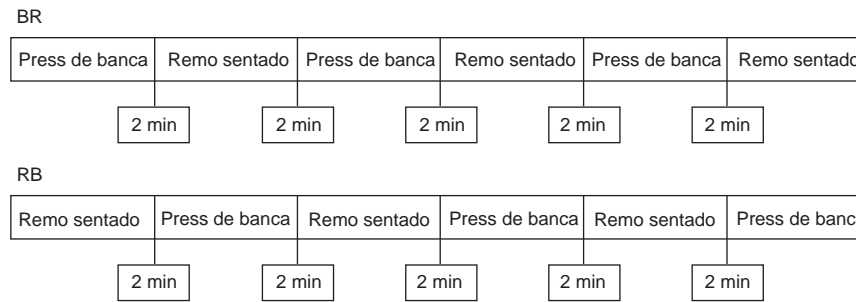


Figura 1 Diseño del estudio.

de los electrodos, que se hizo de acuerdo con la electromiografía de superficie, con las recomendaciones de valoración no invasiva de los músculos (SENIAM)¹⁶. Se rasuró la superficie de la piel, se raspó ligeramente y se limpió con alcohol antes de colocar los electrodos de superficie del EMG. Estos se colocaron en el abdomen, debidamente alineados con la dirección de la fibra, de acuerdo con las normas SENIAM, para evitar la posibilidad de réplicas¹⁷. El electrodo PM se colocó entre el acromio y el xifoides. El electrodo DP se situó a unos 2 dedos detrás del ángulo del acromio. El electrodo BB se colocó en la línea entre el acromio medial y la fosa del codo. El electrodo TB se colocó a mitad de camino entre el acromio y el olécranon a la anchura de 2 dedos por debajo de la línea medial. El electrodo de referencia se colocó en el hueso de la clavícula. La impedancia entre pares de electrodos fue menor de 5 kW utilizando una señal de 25 Hz a través de los electrodos. Todos estos procedimientos fueron realizados por el mismo investigador. La colocación de electrodos se identificó el primer día del test, y se hizo una marca en la piel con tinta indeleble para asegurar que los días posteriores se utilizara la misma posición.

Análisis de datos

La amplitud mediana de la media cuadrática (RMS) se evaluó con el software Matlab 5.02c (MathWorks®, Natick, MA, EE. UU.). La función ventana para RMS fue de 100 milisegundos, y todos los valores reportados fueron la mediana del RMS sobre una función ventana de muestreo predeterminado desde el inicio hasta el final de cada contracción. Solo se analizó la señal obtenida de las repeticiones centrales, excluyendo la primera y la última repetición de cada serie y ejercicio. Se adoptó este procedimiento para evitar problemas con las discrepancias de señal concernientes a la inercia del inicio de los ejercicios, así como a la posibilidad de fatiga de la última repetición. Se recogieron los datos EMG de la totalidad de las series (fases concéntrica y excéntrica), ejercicio y protocolo. Los datos EMG se expresaron como porcentaje relativo del valor mayor de RMS (100%) de la señal EMG obtenida de cada músculo, teniendo en cuenta todas las series y protocolos realizados, respectivamente¹⁸. Se adoptó la normalización a través del pico de los datos EMG obtenidos durante todas las series y ejercicio de cada músculo para evitar y atenuar algunas limitaciones del análisis EMG durante estas tareas dinámicas, como los cambios de estructura de la acción potencial intracelular, el conduc-

tor de volumen, las propiedades del sarcolema de las fibras musculares o diferencias de grosor del tejido subcutáneo¹⁷.

Análisis estadístico

El análisis estadístico incluyó la fiabilidad test-retest de cargas 8 RM y parámetros espectrales EMG calculados con coeficiente de correlación intraclase ($ICC = (MS_b - MS_w) / [MS_b + (k - 1) MS_w]$), donde MS_b = media cuadrática entre, MS_w = media cuadrática dentro, k = media del tamaño del grupo.

El test de Shapiro-Wilk y el criterio de Bartlett mostraron que todas las variables analizadas presentaban los criterios de normalidad y homoscedasticidad. Estos datos fueron analizados mediante un análisis de varianza de 2 vías (ANOVA) (2 [secuencias] × 3 [series]) con medidas repetidas para determinar si hubo efectos principales significativos o interacciones entre las secuencias de ejercicios y las series (1, 2 y 3). Los datos EMG se analizaron mediante un ANOVA de 3 vías (2 [secuencias] × 3 [series] × 4 [músculos]) con medidas repetidas para determinar si hubo efectos principales significativos o interacciones entre las secuencias de ejercicios, las series (1, 2 y 3) y los músculos analizados. Se utilizó el test post hoc de Bonferroni cuando fue necesario. Entre los protocolos de cada ejercicio se adoptó el test *t* emparejado para comparar el trabajo total (suma del número de repeticiones de las 3 series). Para verificar las diferencias de la RPE total entre protocolos y ejercicios se utilizó el test de Wilcoxon. El nivel de significación estadística se fijó en 0,05 en todas las pruebas. El tamaño del efecto se calculó siguiendo las recomendaciones de Rhea¹⁹. El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS versión 20.0 (Chicago, IL, EE. UU.).

Resultados

No hubo diferencias significativas entre las secuencias ($F = 0,013$; $p = 0,912$) en el ejercicio de press de banca, pero se observaron diferencias significativas en las series ($F = 77,775$; $p = 0,0001$) (tabla 1). Por tanto, se observaron interacciones significativas entre las series y secuencias ($F = 10,191$; $p = 0,001$). Por otro lado, no las hubo en el volumen de entrenamiento y el trabajo total entre secuencias en el ejercicio de press de banca. Referente al ejercicio de remo sentado, hubo diferencias significativas entre secuencias ($F = 40,904$; $p = 0,0001$) y series ($F = 48,941$;

Tabla 1 Mediana, DE y tamaño del efecto de la repetición, el volumen de entrenamiento y el trabajo total de press de banca y de remo sentado durante los protocolos experimentales.

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	VE	TT
Press de banca					
BR	8 ± 0	7,6 ± 0,7	6,6 ± 0,8#§	1486,6 ± 200,3	22,3 ± 1,3
RB	9 ± 1	7 ± 0,6#	6,1 ± 0,8#§	1492 ± 282,5	22 ± 2
Tamaño efecto	1 (moderada)	-0,85 (trivial)	-0,2 (trivial)	0,02 (trivial)	-0,23 (trivial)
Remo sentado					
BR	9,2 ± 1,4*	8,3 ± 0,6*	7 ± 0,8#§*	1709,7 ± 177,6*	25,3 ± 1,8*
RB	7,9 ± 0,	7 ± 0,8	6,1 ± 1,1#§	1424,4 ± 196	21 ± 1,6
Tamaño efecto	-0,92 (trivial)	-2,1 (trivial)	-1,12 (trivial)	-1,60 (trivial)	-2,38 (trivial)

BR: ejercicio de press de banca, seguido del ejercicio de remo sentado; RB: remo sentado seguido del ejercicio de press de banca; VE: volumen de entrenamiento (repetición × series × carga externa); TT: trabajo total (repeticiones × series); * diferencia significativa en la secuencia RB; † diferencia significativa en la secuencia BR; # diferencia significativa de la serie 1; § diferencia significativa de la serie 2.

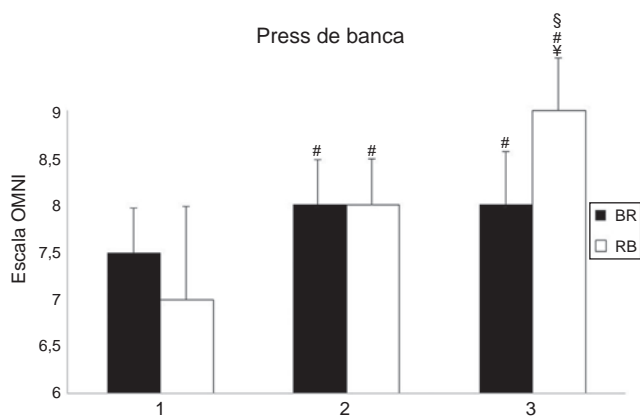


Figura 2 Mediana de valores del índice de esfuerzo percibido, seguido de la escala OMNI-RES en el ejercicio de press de banca. BR: series emparejadas entre el ejercicio de press de banca seguidas del ejercicio de remo sentado; RB: series emparejadas entre el remo sentado seguidas del ejercicio de press de banca; * diferencia significativa de la secuencia RB; † diferencia significativa de la secuencia BR; # diferencia significativa de la serie 1; § diferencia significativa de la serie 2.

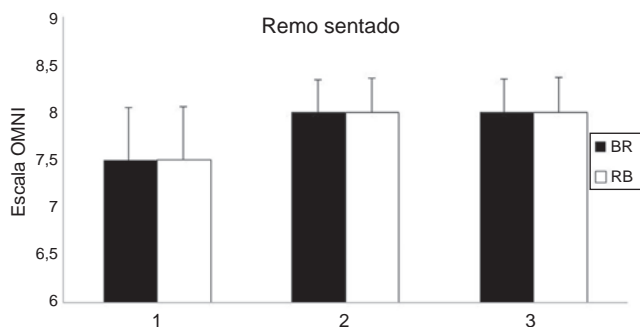


Figura 3 Mediana de valores del índice de esfuerzo percibido seguidos de la escala OMNI-RES en el ejercicio de remo sentado. BR: series emparejadas de press de banca seguidas del ejercicio de remo sentado; RB series emparejadas de remo sentado seguidas del ejercicio de press de banca.

$p = 0,0001$). Por tanto, no hubo interacción entre series y secuencias ($F = 1,807$; $p = 0,186$). No obstante, se observó un volumen mayor de entrenamiento ($p = 0,0001$) y de trabajo total ($p = 0,0001$) en los ejercicios de remo sentado, en la secuencia BR en comparación con RB.

RPE fue significativamente mayor en las series 2 ($p = 0,002$; $p = 0,0001$) y 3 ($p = 0,003$; $p = 0,0001$) que en la serie 1, en las secuencias BR y RB en el ejercicio de press de banca, respectivamente (fig. 2). Así, RPE fue mayor durante la serie 3 en RB ($p = 0,0001$) en comparación con la secuencia BR. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas de RPE en el ejercicio de remo sentado en las 3 series en ambas secuencias (fig. 3).

No hubo diferencias significativas o interacción entre series y secuencias en la activación de los músculos TB y PM durante el ejercicio de press de banca. Ello también es válido en la activación de BB durante el ejercicio de press de banca.

Sin embargo, hubo diferencias significativas entre protocolos en la activación del músculo DP ($F = 5,454$; $p = 0,038$). La coactivación del DP fue significativamente mayor durante la serie 1 ($p = 0,002$), 2 ($p = 0,0001$) y 3 ($p = 0,0001$) bajo BR comparada con la secuencia RB (fig. 4).

Hubo diferencias significativas entre protocolos para el músculo DP ($F = 6,324$; $p = 0,021$). La coactivación DP fue significativamente mayor durante las series 1 ($p = 0,021$), 2 ($p = 0,001$) y 3 ($p = 0,0001$) bajo BR, comparada con la condición RB. No hubo diferencias significativas o interacción entre series y protocolos para los músculos BB durante el ejercicio de remo sentado en ambas secuencias. Resultados similares se encontraron en la activación de TB durante el ejercicio de remo sentado (fig. 5).

Discusión

Las principales conclusiones de esta investigación demuestran que había un volumen de entrenamiento significativamente mayor en el ejercicio de remo sentado cuando se realizaba después del ejercicio de press de banca, comparado con el orden inverso durante el entrenamiento SE.

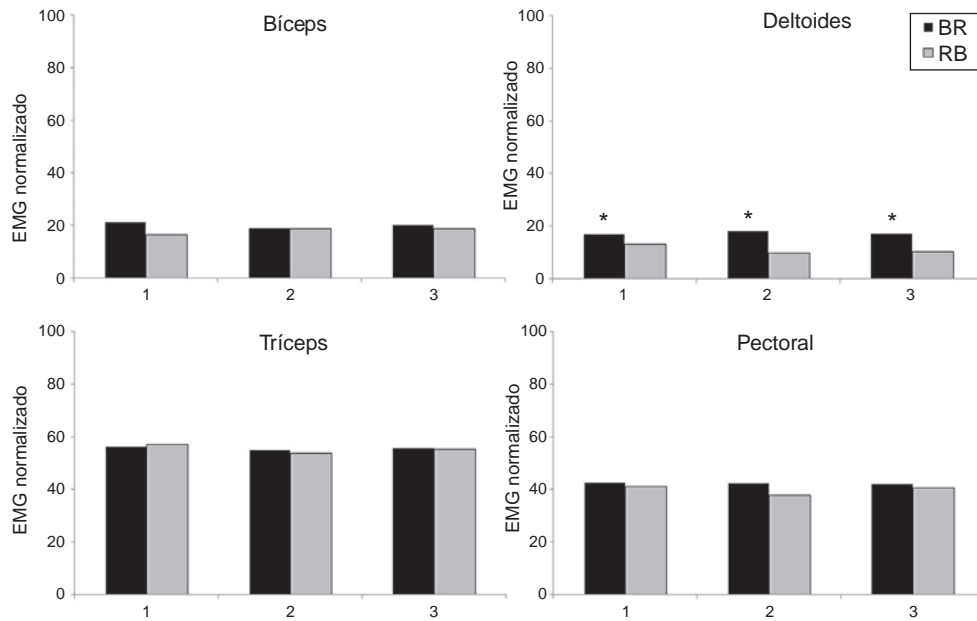


Figura 4 Media cuadrática normalizada de los músculos bíceps braquial, deltoides posterior, pectoral y tríceps braquial durante el ejercicio de press de banca. * Diferencia significativa del protocolo RB ($p < 0,05$).

También se observó una activación del músculo DP superior en las 3 series de remo sentado realizadas bajo el protocolo BR, comparadas con las del RB. Estos resultados concuerdan con evidencias anteriores que encontraron mejoras significativas en el rendimiento de fuerza siguiendo protocolos antagonistas de precarga^{8,20}. Estos hallazgos también pue-

den indicar que es preciso tener en cuenta el orden de los ejercicios en la prescripción del entrenamiento SE.

En el presente estudio se observó un volumen de entrenamiento superior cuando el ejercicio de remo sentado se realizaba después del ejercicio de press de banca (BR), en comparación con el orden inverso (RB). Estos resultados fueron

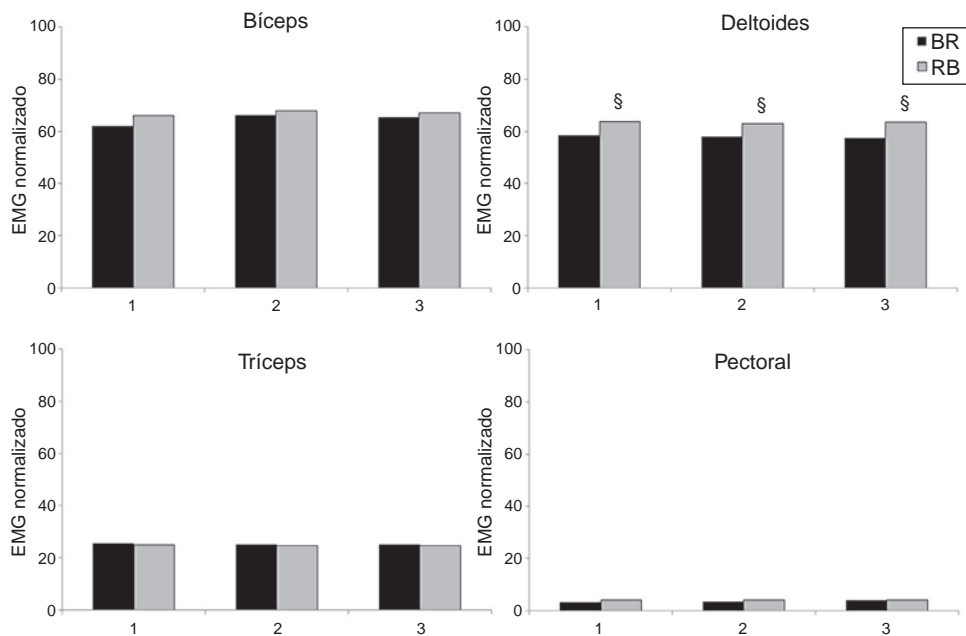


Figura 5 Media cuadrática normalizada de los músculos bíceps braquial, deltoides posterior, pectoral y tríceps braquial durante el ejercicio de remo sentado. \$ diferencia significativa del protocolo BR ($p < 0,05$).

similares a los hallados por Balsamo et al.⁸, quienes observaron un volumen de entrenamiento significativamente mayor cuando el ejercicio de extensión de rodillas se realizaba después del ejercicio de curl femoral (cargas de 10 RM), en comparación con el ejercicio en orden inverso (extensión de rodillas antes del curl femoral). Balsamo et al.⁸ sugirieron que los músculos isquiotibiales eran más sensibles a las alteraciones del huso neuromuscular, los órganos tendinosos de Golgi y el almacenamiento de energía elástica, en comparación con los músculos del cuádriceps, que pueden ser responsables del efecto potencial de la precarga antagonista. Referente al ejercicio de remo sentado, Paz et al.¹⁰ observaron un rendimiento superior en la repetición después de una serie antagonista de precarga de press de banca (cargas de 10 RM), en comparación con una serie de ejercicios de remo sentado ejecutados sin precarga antagonista.

No obstante, en el presente estudio no hubo diferencias significativas en el volumen de entrenamiento y trabajo total en el ejercicio de press de banca entre ambas secuencias. Ello también es válido para RPE entre series y ejercicios. Resultados similares fueron observados por Robbins et al.⁷, quienes hallaron un volumen de entrenamiento similar en 3 ejercicios de tracción y press de banca (cargas de 4 RM) aplicando intervalos de 4 min de descanso entre series y ejercicios, en comparación con el entrenamiento ST. Robbins et al.⁷ sugirieron que los músculos dorsales son más resistentes a acumular fatiga, lo cual puede afectar a la adaptación de la precarga antagonista. En otro estudio, Robbins et al.⁶ también observaron un volumen de entrenamiento similar a continuación de 3 SE (con un intervalo de descanso de 2 min) de tracción y press de banca (4 RM), comparado con el entrenamiento ST (con un intervalo de descanso de 4 min). Estos resultados difirieron de los de Baker y Newton²⁰, quienes observaron un rendimiento de fuerza superior durante los lanzamientos desde press de banca 3 min después de la serie de ejercicios de tracción, comparados con los lanzamientos desde press de banca sin precarga antagonista. Baker y Newton²⁰ sugirieron que este aumento de rendimiento de la fuerza agonista era a causa de una alteración en el patrón trifásico de activación (agonista-antagonista-agonista) inducida por la tensión previa del antagonista.

Una activación muscular superior se observó en los músculos DP durante las 3 series realizadas del ejercicio de remo sentado bajo la secuencia BR, en comparación con la secuencia RB. Estos resultados contrastan con los de investigadores anteriores que no hallaron diferencias en la activación del músculo agonista o antagonista en el entrenamiento SE en comparación con el entrenamiento ST^{7,6}. Sin embargo, resultados similares fueron observados por Paz et al.¹⁰, quienes constataron una activación muscular mayor del dorsal ancho y BB en remo sentado seguido de una serie de press de banca, en comparación con una serie sin activación antagonista previa. Los autores asocian estos resultados a un estado de fatiga inducida por la manipulación antagonista. Recientemente, Maia et al.⁹ observaron un aumento significativo de la activación muscular del vasto medial y recto femoral durante una serie de ejercicios de extensión de rodillas en máquina (cargas de 10 RM), seguido de curl femoral, adoptando intervalos de descanso limitados o más breves (30 s y 1 min), en comparación con un

protocolo sin precarga antagonista. Estos resultados respaldan las hipótesis que indican que la preactivación antagonista puede mejorar la activación de los músculos agonistas y el rendimiento de fuerza⁶.

En el presente estudio se observaron aumentos significativos de activación de DP durante el ejercicio de press de banca en las 3 series, bajo secuencia BR en comparación con RB. Estos resultados pueden estar asociados a la función estabilizadora de los músculos del hombro DP durante el ejercicio de remo sentado (abducción de hombro), teniendo en cuenta el cansancio acumulado por el SE, y el aumento en el número de repeticiones realizadas bajo secuencia BR. El incremento de la amplitud EMG observada durante BR podría ser atribuido especialmente al reclutamiento de la unidad motora adicional y/o a un incremento de la sincronización espacial o temporal de la unidad motora, presumiblemente para compensar la fatiga de la fibra muscular²¹⁻²². Se han propuesto distintos mecanismos (por ejemplo, el ajuste neuronal del órgano tendinoso de Golgi, un almacenamiento mayor de energía elástica, alteración de las vías neurales trifásicas) para explicar el rendimiento inducido por la precarga del antagonista^{7-8,20,23}. Por otra parte, la alteración del patrón trifásico puede que no sea responsable de los resultados hallados en este estudio, teniendo en cuenta que el patrón de activación trifásica a menudo es inducido por movimientos de velocidad mayor.

Un hallazgo secundario de este estudio fue observar una disminución del rendimiento en la repetición tanto en press de banca como en remo sentado a través de las series de ambos protocolos. Estos datos sugieren que un intervalo de descanso de 2 min fue insuficiente para mantener el rendimiento de la repetición. Este hallazgo coincide con investigaciones previas SE, en las que se mantuvo el rendimiento de la repetición con intervalos de descanso de 1 a 4 min entre series^{3,6,24}.

Este estudio tiene unas limitaciones que deben ser mencionadas. A causa de factores como la velocidad y la longitud de la fibra muscular, la interpretación de la señal de EMG durante las tareas dinámicas puede aumentar las características no estacionarias de la señal de EMG. Además, el estudio solo revisó 2 ejercicios de resistencia de la parte superior del cuerpo, mientras que las sesiones de entrenamiento de resistencia normalmente incluyen distintos ejercicios realizados en múltiples series. Por tanto, las interacciones entre músculos agonistas y antagonistas tienen un potencial mayor y una aplicabilidad práctica de mejoras importantes del rendimiento de fuerza, que deberían ser estudiadas en investigaciones futuras.

Conclusiones

Los resultados de este estudio sugieren que el orden de los ejercicios tiene un efecto importante en el rendimiento de fuerza en el entrenamiento SE por el volumen de entrenamiento, trabajo total y activación de los músculos de la parte superior del cuerpo. Si el objetivo de la sesión de entrenamiento es aumentar considerablemente el rendimiento de las repeticiones y la activación muscular, el ejercicio de press de banca debería realizarse antes del de remo sentado.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa de Educación para el Trabajo y la Salud (PET-SAUDE), así como a la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (CAPES/Brasil), por la beca de maestría concedida a G. A. Paz.

Bibliografía

- American College of Sports Medicine (ACSM). Position Stand: quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43:1334-59.
- American College of Sports Medicine (ACSM) Position Stand: Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;34:687-708.
- Miranda H, Simao R, dos Santos Vigarito P, de Salles BF, Pacheco MT, Willardson JM. Exercise order interacts with rest interval during upper-body resistance exercise. *J Strength Cond Res.* 2010;24:1573-7.
- Simao R, de Salles BF, Figueiredo T, Dias I, Willardson JM. Exercise order in resistance training. *Sports Med.* 2012;42:251-65.
- Fleck SJ, Kraemer WJ. Designing resistance training programs. Fourth Edition. Human Kinetics; 2014.
- Robbins DW, Young WB, Behm DG, Payne WR. Agonist-antagonist paired set resistance training: a brief review. *J Strength Cond Res.* 2010;24:2873-82.
- Robbins DW, Young WB, Behm DG. The effect of an upper-body agonist-antagonist resistance training protocol on volume load and efficiency. *J Strength Cond Res.* 2010;24:2632-40.
- Balsamo S, Tibana RA, Nascimento D da C, de Farias GL, Petruccelli Z, de Santana Fdos, et al. Exercise order affects the total training volume and the ratings of perceived exertion in response to a super-set resistance training session. *Int J Gen Med.* 2012;5:123-7.
- Maia MF, Willardson JM, Paz GA, Miranda H. Effects of different rest intervals between antagonist paired sets on repetition performance and muscle activation. *J Strength Cond Res.* 2014;28:2529-35.
- Paz GA, Willardson JM, Simão R, Miranda H. Effects of different antagonist protocols on repetition performance and muscle activation. *Med Sport.* 2013;17:106-12.
- Miranda H, Figueiredo T, Rodrigues B, Paz GA, Simão R. Influence of exercise order on repetition performance among all possible combinations on resistance training. *Res Sports Med.* 2013;21:355-66.
- Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr.* 1978;40:497-504.
- Gentil PE, Oliveira E, de Araújo Rocha Júnior V, do Carmo J, Bottaro M. Effects of exercise order on upper-body muscle activation and exercise performance. *J Strength Cond Res.* 2007;21:1082-6.
- Tan B. Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *J Strength Cond Res.* 1999;13:289-304.
- Robertson RJ, Goss FL, Rutkowski J, Lenz B, Dixon C, Timmer J, et al. Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35:333-41.
- Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol.* 2000;10:361-74.
- De Luca CJ. The use of surface electromyography in biomechanics. *J Appl Biomech.* 1997;13:135-63.
- Wright GA, Delong TH, Gehlsen G. Electromyographic activity of the hamstrings during performance of the leg curl, stiff-leg deadlift, and back squat movements. *J Strength Cond Res.* 1999;13:168-74.
- Rhea M. Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res.* 2004;18:918-20.
- Baker D, Newton RU. Acute effect on power output of alternating an agonist and antagonist muscle exercise during complex training. *J Strength Cond Res.* 2005;19:202-5.
- Benson C, Docherty D, Brandenburg J. Acute neuromuscular responses to resistance training performed at different loads. *J Sci Med Sport.* 2006;9:135-42.
- Marshall PW, Robbins DA, Wrightson AW, Siegler JC. Acute neuromuscular and fatigue responses to the rest-pause method. *J Sci Med Sport.* 2012;15:153-8.
- Carregaro R, Cunha R, Oliveira CG, Brown LE, Bottaro M. Muscle fatigue and metabolic responses following three different antagonist pre-load resistance exercises. *J Electromyogr Kinesiol.* 2013;23:1090-6.
- Robbins DW, Young WB, Behm DG, Payne WR. The effect of a complex agonist and antagonist resistance training protocol on volume load, power output, electromyographic responses, and efficiency. *J Strength Cond Res.* 2010;24:1782-9.