

Respuestas Cardiovasculares al Ejercicio de Resistencia son Afectadas por la Carga e Intervalos entre Series

Antonio Gil Castinheiras-Neto¹, Irineu Rodrigues da Costa-Filho¹, Paulo Tarso Veras Farinatti^{1,2}

Programa de Pós-Graduação em Ciências da Atividade Física - Universidade Salgado de Oliveira¹, Niterói, RJ; Instituto de Educação Física e Desportos - Laboratório de Atividade Física e Promoção da Saúde - Universidade do Estado do Rio de Janeiro², Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Resumen

Fundamento: El control de las respuestas cardiovasculares durante ejercicio de resistencia (ER) es importante para la seguridad del paciente.

Objetivo: Investigar la influencia del número de repeticiones máximas (RM) y de los intervalos de recuperación entre series (IR) sobre la frecuencia cardíaca (FC), presión arterial sistólica (PAS) y doble producto (DP) durante ER.

Métodos: Veinte sujetos sanos (26 ± 5 años) realizaron protocolos de ER comprendiendo tres series del leg press (6 y 12 RM) y IR proporcional al tiempo de contracción (1:3 y 1:5). Se midió la FC continuamente con cardiofrecuencímetro y la PAS fue verificada al final de las series, por medio de protocolo validado con método auscultatorio.

Resultados: La FC sufrió influencia de la carga ($p = 0,008$) y de las series ($p < 0,001$), pero no del IR ($p = 0,087$). La PAS sufrió efecto aislado del número de series ($p < 0,001$) y del IR ($p = 0,017$), pero no de la carga ($p = 0,95$). El DP se elevó en relación directa con la carga ($p = 0,036$) y con las series ($p < 0,001$), pero inversamente al IR ($p = 0,006$). En los protocolos de 6 RM, la variación de la FC fue mayor para IR = 1:3 ($\Delta = 11,2 \pm 1,1$ lpm) que para IR = 1:5 ($\Delta = 4,5 \pm 0,2$ lpm; $p = 0,002$), pero no hubo diferencia para 12 RM (Δ 1:3 = $21,1 \pm 2,2$ lpm; Δ 1:5 = $18,9 \pm 2,0$ lpm, $p = 0,83$). El IR influyó la variación de la PAS en todas las cargas (6 RM - Δ 1:3 = $10,6 \pm 0,9$ mmHg, Δ 1:5 = $6,6 \pm 0,7$ mmHg; $p = 0,02$ y 12 RM - Δ 1:3 = $15,2 \pm 1,1$ mmHg, Δ 1:5 = $8,4 \pm 0,7$ mmHg; $p = 0,04$). El DP se elevó proporcionalmente a la carga ($p = 0,036$) y para series ($p < 0,001$), pero inversamente al IR ($p = 0,006$). Con IR = 1:3, hubo diferencia de DP para 6 RM ($\Delta = 2.892 \pm 189$ mmHg.lpm) y 12 RM ($\Delta = 4.587 \pm 300$ mmHg.lpm; $p = 0,018$), pero no con IR = 1:5 (6 RM: $\Delta = 1.224 \pm 141$ mmHg.lpm, 12 RM: $\Delta = 2.332 \pm 194$ mmHg.lpm; $p = 0,58$).

Conclusión: Independientemente de la carga, un mayor IR se asoció a menores respuestas cardiovasculares durante ER, especialmente de PAS. (Arq Bras Cardiol 2010; 95(4): 493-501)

Palabras clave: Ejercicio, entrenamiento de resistencia; frecuencia cardíaca, presión arterial.

Introducción

El entrenamiento de resistencia acarrea elevación importante de la frecuencia cardíaca (FC) y presión arterial (PA)^{1,2}. La manipulación de variables del entrenamiento puede controlar esas respuestas, modificando la sobrecarga cardiovascular durante los ejercicios^{2,3}. Estudios previos investigaron la influencia de diversas variables, como la velocidad de movimiento⁴, el número de series⁵, la intensidad y el número de repeticiones^{2,6}, la masa muscular comprendida^{2,7}, los tipos de ejercicio¹ o el estado de entrenamiento⁸.

Mientras tanto, son escasas las informaciones sobre la influencia del intervalo de recuperación entre series y ejercicios. Apenas un estudio investigó específicamente la influencia de

tal variable sobre los valores de FC y PA⁹, identificando mayor respuesta presórica en sesiones con intervalos más cortos. Ratamess et al¹⁰ no midieron específicamente la PA, pero no identificaron diferencias significativas en las respuestas de FC a ejercicio hecho con diferentes intervalos de recuperación. Sin embargo, el aumento progresivo de la pulsación a lo largo de las series fue más evidente para intervalos más cortos.

Vale resaltar que esos estudios^{9,10} aplicaron intervalos de recuperación fijos. Así, no consideraron el efecto acumulativo de la fatiga muscular en el transcurso de las series. En la práctica, se percibe que diferentes ejercicios necesitan de tiempo de ejecución variable, ya sea por la complejidad o por la amplitud requerida del movimiento. Se puede pensar, por ejemplo, que, si el intervalo de recuperación fuese proporcional al tiempo de ejecución del ejercicio, ocurriría una menor razón de la disminución de la carga en virtud de menor fatiga acumulada.

Estrategias de recuperación con tiempo fijo pueden no permitir plena recuperación en series consecutivas, lo que puede potencializar el aumento de PA y FC^{5,9,11}. Fijar

Correspondencia: Paulo T. V. Farinatti •

Universidade Salgado de Oliveira - Rua Marechal Deodoro 211, Bloco C, 1º andar - 24030-060 - Centro - Niterói, RJ - Brasil

E-mail: pfarinatti@gmail.com

Artículo recibido el 01/08/09; revisado recibido el 17/03/10; aceptado el 11/05/10.

el intervalo de recuperación con base en el tiempo de ejecución del ejercicio (o tiempo de tensión) puede ser más adecuado, dependiendo de la sobrecarga con que se trabaja. Infelizmente, no fue posible encontrar estudios que hayan confirmado esa hipótesis, lo que sería especialmente importante en el ámbito de programas de entrenamiento para pacientes con riesgo de intercorrenza cardiovascular.

De ese modo, el presente estudio investigó la influencia de dos intervalos de recuperación, establecidos con base en el tiempo de tensión, en series múltiples de ejercicio de resistencia, realizado con diferentes repeticiones máximas, por individuos normotensos, sobre las respuestas agudas de FC y PA sistólica (PAS) y, consecuentemente, del doble producto (DP).

Métodos

Muestra

Veinte voluntarios (26 ± 5 años; $70,9 \pm 8,1$ kg; $173,9 \pm 7,0$ cm), con experiencia previa de 6-12 meses en entrenamiento de resistencia, participaron del estudio.

Los siguientes criterios de exclusión fueron observados: a) utilización de drogas que pudiesen influenciar las respuestas cardiovasculares en reposo o ejercicio; b) limitaciones osteomioarticulares que contraindicasen la realización de los ejercicios; c) diagnóstico de hipertensión, enfermedad cardíaca u otro compromiso cardiovascular que contraindicasen la realización de los ejercicios o influenciase en los resultados.

El estudio fue aprobado por comité de ética institucional y todos los participantes firmaron término de consentimiento libre y aclarado, según recomendado por el Consejo Nacional de Salud (Resolución 196/96).

Determinación de las cargas - 6 y 12 repeticiones máximas (RM)

Fueron necesarias 4 visitas para la realización de los tests que establecieron las cargas asociadas a la ejecución de 6 RM y 12 RM en el leg press, así como verificar la confiabilidad de los resultados medidos. La elección del leg press horizontal fue motivada por el hecho de envolver grandes grupos musculares y, por lo tanto, sugerir mayor impacto sobre los valores de presión arterial. Además de eso, se trata de un ejercicio de fácil ejecución, frecuentemente incluido en las rutinas de prescripción de ejercicios para pacientes con enfermedad cardiovascular.

Antes de la realización de los tests de RM, fue realizado calentamiento específico, que consistió en la ejecución de 12 repeticiones con carga equivalente a 30% de la carga máxima predicha. En cada día, los sujetos tuvieron hasta 5 tentativas para concluir con éxito los tests, con intervalo de 5 min. entre cada tentativa.

Los tests de 6 RM y 12 RM fueron realizados en días diferentes, espaciados por lo menos 48 h. Estímulos verbales fueron usados para mantener elevado el nivel de estimulación durante los ejercicios. Los pesos utilizados fueron previamente medidos en balanza de precisión. En el caso de que no fuese posible establecer la carga asociada a las 6 RM

o 12 RM hasta la 5ª tentativa, una nueva fecha era marcada, respetándose igualmente un intervalo de por lo menos 48 h. La reproductibilidad de los tests de RM fue testeada por el coeficiente de correlación intraclase, revelándose satisfactoria (ICC 6 RM = 0,89; $p < 0,01$ y ICC 12 RM = 0,85; $p < 0,01$).

Protocolo experimental

Una vez determinadas las cargas de 6 RM y 12 RM, los sujetos realizaron 4 protocolos aleatorios de ejercicios, en orden definido de forma contrabalaceada. Cada sesión tuvo lugar en día específico, realizando un total de 4 visitas más al laboratorio, espaciadas por intervalos de 48 horas. Todos los sujetos ejecutaron los siguientes procedimientos: a) tres series de 6 RM con intervalo de 1:3; b) tres series de 6 RM con intervalo de 1:5; c) tres series de 12 RM con intervalo de 1:3; y d) tres series de 12 RM con intervalo de 1:5.

Los sujetos fueron instruidos a respetar las siguientes recomendaciones antes de las sesiones de ejercicios: a) no practicar ningún tipo de actividad física en las 48 h precedentes; b) abstinencia de bebidas alcohólicas, con cafeína o estimulantes por 24 h; y c) realizar el mínimo de esfuerzo en el desplazamiento hasta el laboratorio.

Antes de la ejecución de los protocolos, los sujetos permanecían 10 min. sentados, en ambiente calmo y silencioso. La FC y la PA en reposo eran entonces medidas, registrándose la media de los últimos dos minutos para la FC, y la media de dos medidas realizadas en el mismo período para la PA. Enseguida, era hecho un calentamiento de 12 repeticiones con 30% de la carga prevista para la sesión. Después del calentamiento, los sujetos descansaban 5 minutos e iniciaban el ejercicio.

La medición de las variables cardiovasculares fue hecha en las condiciones de reposo y en ejercicio, con auxilio de los mismos equipamientos, según descrito a seguir:

a) *Reposo* - los individuos permanecieron sentados por 10 minutos. La FC fue medida continuamente, siendo registrada la media de los últimos dos minutos, con uso de un cardiofrecuencímetro Polar® S810 (Kempele, Finlandia). La PAS y la presión arterial diastólica (PAD) fueron medidas dos veces, entre el 8º y 10º minuto, por el método indirecto auscultatorio, con auxilio de un manómetro tipo columna de mercurio Heidji® (São Paulo, Brasil). El estándar de medida siguió las recomendaciones de las V Directrices Brasileñas de Hipertensión Arterial¹², siendo realizado siempre por el mismo evaluador, tanto en reposo como en ejercicio. La PA fue medida en ambos brazos, siendo considerada la mayor medida en caso de diferencia.

b) *Ejercicio* - La FC fue medida continuamente, siendo registrado el mayor valor presentado al final de las series. Para medida de la PA, se respetaron recomendaciones previamente validadas para medición durante ejercicios de resistencia^{13,14}, según detallado en el Cuadro 1.

En líneas generales, la apertura de la válvula ocurría antes del término de la serie, de forma de registrar el valor sistólico entre la penúltima y la última repetición. Una medición piloto era hecha para determinar el valor de pico de la PAS, a fin de que se elevase la presión del manguito a un valor aproximado de 30 mmHg mayor, antes de la apertura de la

Cuadro 1 - Procedimientos utilizados para la medición de la presión arterial durante el ejercicio de resistencia por el método auscultatorio (adaptado de Polito y colegas¹³)

Paso 1	Ajuste del manguito	<p>Antes de iniciar la evaluación, verificar la altura del posicionamiento de la columna de mercurio (debe posicionarse a la altura de los ojos del evaluador);</p> <p>La sala de evaluación debe tener buena luminosidad y bajo ruido;</p> <p>Certificarse de que el manguito esté completamente vacío;</p> <p>El brazo debe estar apoyado en soporte propio (estable) y a altura adecuada (al nivel del corazón);</p> <p>El codo debe estar levemente flexionado y la mano en supinación;</p> <p>La abrazadera de velcro es la que presenta mejor fijación bajo el punto de vista de ajuste al brazo (se evita compresión excesiva u holgura);</p> <p>Se debe fijar la abrazadera 2,5 cm encima de la fosa antecubital, de modo que el fulcro del manguito esté centralizado sobre la arteria braquial;</p> <p>La campana del estetoscopio debe ser colocada sobre la arteria braquial. El manguito no debe cubrirla;</p> <p>El tamaño del manguito debe ser adaptado al sujeto evaluado.</p>
Paso 2	Durante el ejercicio	<p>Ejercicios con elevados movimientos pueden comprometer la precisión de la medida;</p> <p>Ejercicios que soliciten ambos brazos deben ser descartados para la medición;</p> <p>El brazo en el cual ocurrirá la medida no deberá contraerse durante todo el ejercicio;</p> <p>Es necesario estipular el número de repeticiones y el período de tensión en cada repetición, para que el evaluador se prepare para el momento exacto de insuflar y desinflar el manguito;</p> <p>La columna de mercurio debe estar a la altura de los ojos del evaluador, pudiendo ser suspendida en superficie plana y estable (p. ej.: silla, mesa etc.).</p>
	Medida de la presión arterial	<p>Ejercicios que soliciten gran masa muscular (como el leg press) o que sean realizados con elevado número de repeticiones (superior a 15) pueden inducir valores presóricos encima de 200 mmHg;</p> <p>Es indicado, en esos casos, realizar medida piloto para determinar el valor de pico de la PAS. Durante la medida, se aconseja inflar el manguito hasta un valor cerca de 30 mmHg superior al previamente determinado;</p>
Paso 3	Registro del valor sistólico	<p>En ejercicios con hasta 6 repeticiones, con tiempo de tensión de 2s para las fases 'concéntrica' y 'excéntrica', la apertura de la válvula debe ocurrir a partir de la antepenúltima repetición;</p> <p>La determinación del valor sistólico debe ocurrir entre 4 y 6 s después de la apertura de la válvula. El registro del valor sistólico debe coincidir con el término del ejercicio;</p> <p>La razón de descenso de la presión del manguito, en usuarios de drogas antihipertensivas, debe ser adaptada, por el hecho de que tales pacientes presentan alteraciones en la duración del ciclo cardíaco;</p> <p>En caso de sospecha de error en la medición, el manguito deberá ser totalmente vaciado antes de una nueva medida. El evaluado debe recuperarse adecuadamente para un nuevo esfuerzo;</p> <p>Para confirmación del valor obtenido para PAS, es aconsejable medir el muñeca radial durante la medida;</p> <p>No se deben redondear los valores presóricos (p. ej.: en 5 o 10 mmHg)</p>
	Registro del valor diastólico	<p>Al menor ruido de Korotkoff (4º o 5º) auscultado de forma segura, se consideran los valores de la PAD;</p> <p>Recomiéndase controlar el nivel de ruido en la sala de medición (p. ej.: música, marcha en cinta, conversaciones etc.);</p> <p>Recomiéndase testear la confiabilidad de los valores de PAS y PAD (p. ej.: coeficiente de correlación intraclase o error estándar de la estimativa).</p>

válvula. El vaciado del manguito se dio a una tasa aproximada de 6 mmHg/s. Los sujetos fueron orientados a no contraer los brazos, manteniendo el brazo izquierdo utilizado para la medida en la posición de supinación, con codo levemente flexionado y apoyado en soporte propio. Las medidas fueron hechas siempre por el mismo evaluador entrenado, que no tenía conocimiento de los objetivos del presente estudio.

Para la determinación de la confiabilidad de la medida de la PA en reposo, fueron hechas dos medidas de la PA, con intervalo de 10 minutos, en 20 sujetos (ICC = 0,93 para PAS intra-evaluador; ICC = 0,86 para PAS inter-evaluador). La confiabilidad de la medida durante el ejercicio fue testeada en dos sesiones separadas por 48 h, en los mismos 20 sujetos (ICC = 0,84 y $p = 0,03$ para PAS intra-evaluador; ICC = 0,82 y $p = 0,022$ para PAS inter-evaluador).

En estudio previo de validación¹⁴, se constató una elevada correlación entre las medidas tomadas por auscultación y fotopleletismografía, tanto en reposo como en diferentes repeticiones máximas para ejercicio de miembros inferiores ($p < 0,05$) (reposo: $r = 0,89$; 6 RM: $r = 0,85$; 15 RM: $r = 0,88$). Además de eso, el porcentaje de concordancia en la clasificación en terciles de las medidas en todas las situaciones estuvo siempre encima de 60%, llegando a 75% para la PAS durante el ejercicio. La asociación no paramétrica entre

los métodos, considerando los niveles de clasificación por terciles en reposo, 6 RM y 12 RM, también produjo elevados coeficientes de correlación de Gamma y Kruskal ($\gamma = 0,77 - 0,97$, $p < 0,05$).

Determinación de los intervalos de recuperación entre series

La duración de los intervalos de recuperación entre series tuvo en consideración la duración de estas últimas. La ejecución del ejercicio era cronometrada y el resultado multiplicado por tres o 5, para la determinación de un intervalo que respetase, respectivamente, proporciones de 1:3 o 1:5, entre tiempo de ejecución y tiempo de recuperación. Para la obtención del tiempo de ejecución de las series, fue utilizado cronómetro digital con función progresiva. El cronómetro fue accionado en el momento en que había desplazamiento de la plataforma de apoyo de los pies y era interrumpido cuando esta tocaba en su base al final de la serie.

El cronómetro permitía reiniciar la medida de forma simple, con el mismo botón de su interrupción, lo que permitió que se estipulasen intervalos precisos. Para facilitar la visualización del período de recuperación (1:3 o 1:5) y minimizar la posibilidad de error en el cálculo del intervalo, fue utilizada tabla de conversión previamente elaborada.

Tratamiento de los resultados

El test de Shapiro-Wilk fue utilizado para verificar la normalidad de los datos y el test de Levene para confirmación de la homogeneidad de variancias. La estabilidad de los valores de FC y PAS medidos durante el reposo, en cada una de las sesiones, fue testeada con auxilio de ANOVA de una entrada. La influencia aislada y combinada de los factores observados (RM, series y intervalos) sobre DP, FC y PAS fue testeada con ANOVA de tres entradas, seguida de test post hoc de Fisher, adoptándose como umbral de significancia un valor de $p \leq 0,05$. El software Statistica 6.0 (Statsoft®, Tulsa, EUA) fue utilizado en todos los cálculos.

Resultados

No hubo diferencia significativa entre los valores de FC y PAS de reposo medidos en cada una de las sesiones de ejercicios ($F = 2,02$; $p = 0,78$). Para fines de análisis, por lo tanto, fueron adoptados los menores valores obtenidos para esas variables en los períodos de reposo pre ejercicio. Los valores de FC y PAS durante las series se revelaron siempre significativamente superiores a las medidas tomadas durante el reposo ($F = 1,41$ la $2,56$; $p = 0,027$ la $p = 0,039$).

Vale resaltar aun que el doble del número de repeticiones máximas (6 RM y 12 RM) no estuvo relacionado con la misma proporción de variación en la carga absoluta de trabajo (peso en kg). La razón entre las cargas de 6 y 12 RM fue de apenas 12%, o, en términos absolutos, $7,5 \pm 0,8$ kg.

El impacto de las variables manipuladas fue diverso sobre FC y la PAS. Así, la FC sufrió influencia significativa del efecto aislado del número de repeticiones máximas ($F = 7,33$; $p = 0,008$) y del número de series ($F = 77,65$; $p < 0,001$), pero no del intervalo de recuperación ($F = 3,00$; $p = 0,087$). El efecto combinado de las series con los intervalos, con todo, se reveló significativo ($F = 4,87$; $p = 0,02$). En cuanto a la PAS, el efecto aislado estadísticamente más fuerte residió en el número de series ($F = 63,33$; $p < 0,001$), seguido del intervalo de recuperación ($F = 5,97$; $p = 0,017$). La variable intensidad no tuvo efecto independiente significativo ($F = 0,042$; $p = 0,95$).

Las Figuras 1 y 2 presentan los resultados de las verificaciones post hoc para FC y PAS. Se constata que, sistemáticamente, la influencia del número de series se dio en el sentido de elevar las respuestas cardiovasculares. Por otro lado, el intervalo de recuperación tuvo influencia opuesta, llegando a compensar el efecto acumulativo de las series en algunos casos, principalmente en lo tocante a la PAS.

También fueron comparadas las variaciones absolutas en cada situación, considerando los valores de pico registrados entre la primera y la tercera series. En lo tocante a la FC, para los protocolos de 6 RM, la variación en las series con intervalo de 1:3 fue significativamente mayor que la observada en 1:5 ($\Delta = 11,2 \pm 1,1$ lpm versus $\Delta = 4,5 \pm 0,2$ lpm, respectivamente) ($F = 9,98$; $p = 0,002$). En la carga de 12 RM, la variación de la FC en las series con intervalo de 1:3 no

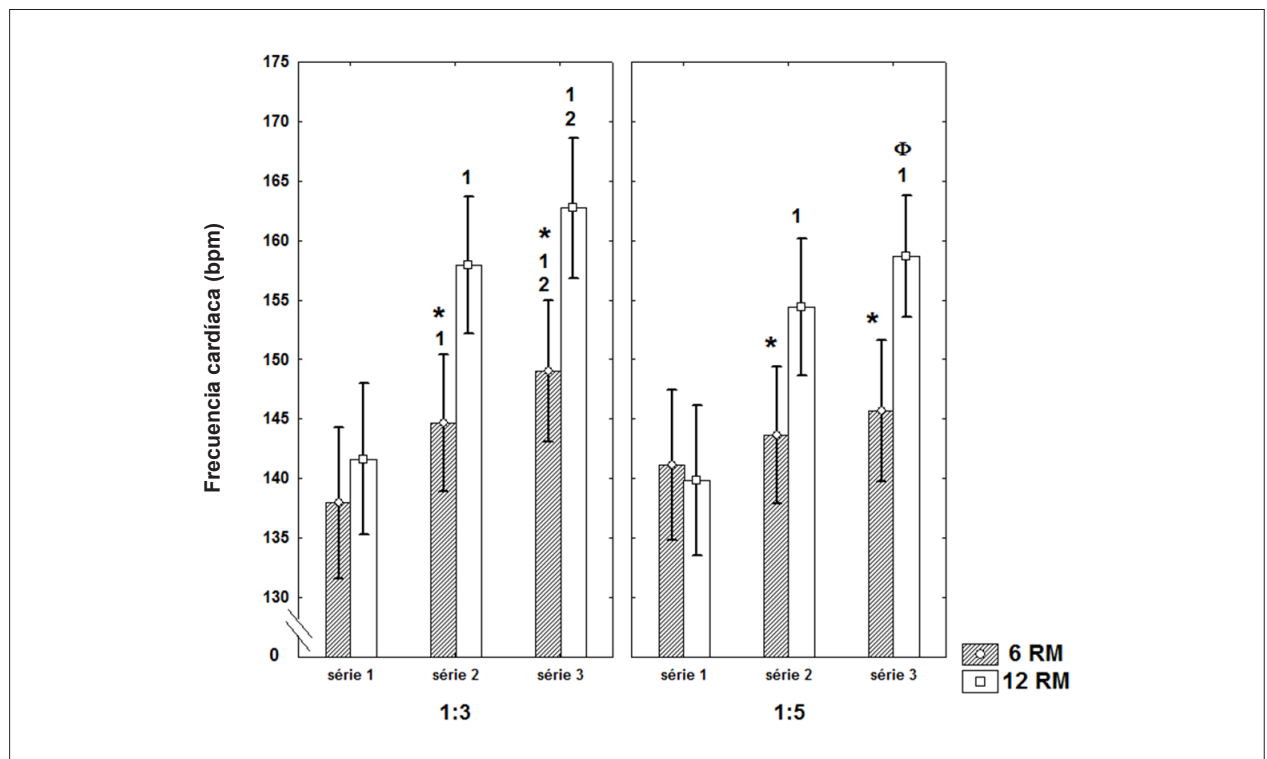


Fig. 1 - Frecuencia cardíaca para tres series del leg press ejecutado con 6 y 12 RM y diferentes intervalos de recuperación entre series (1:3 y 1:5). Los algoritmos indican diferencia significativa en relación a la serie indicada ($p < 0,05$), * diferencia significativa en relación a 12 RM para una dada serie ($p < 0,05$) y Φ diferencia significativa en relación al intervalo de recuperación para una dada serie ($p < 0,05$). Las barras representan intervalos de confianza para 95%.

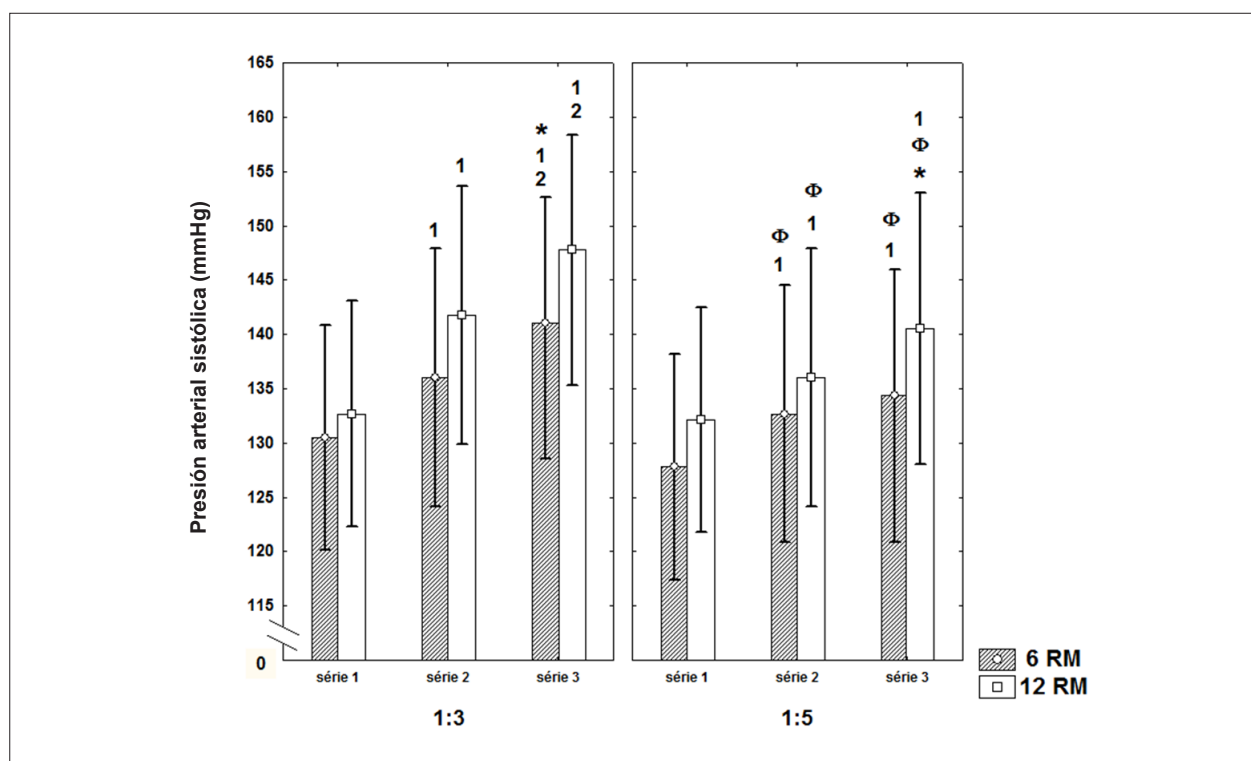


Fig. 2 - Presión arterial sistólica para tres series del leg press ejecutado con 6 y 12 RM y diferentes intervalos de recuperación entre series (1:3 y 1:5). Los algarismos indican diferencia significativa en relación a la serie indicada ($p < 0,05$), * diferencia significativa en relación a 12 RM para una dada serie ($p < 0,05$) y Φ diferencia significativa en relación al intervalo de recuperación para una dada serie ($p < 0,05$). Las barras representan intervalos de confianza para 95%.

presentó diferencia significativa en relación a lo observado en el intervalo 1:5 ($\Delta = 21,1 \pm 2,2$ lpm versus $\Delta = 18,9 \pm 2,0$ lpm, respectivamente) ($F = 0,58$; $p = 0,83$). Las variaciones de PAS entre la 1ª y 3ª series fueron influenciadas por el intervalo de recuperación, independientemente de la carga. En los protocolos con 6 RM, las variaciones para los intervalos de 1:3 y 1:5 fueron, respectivamente, de $10,6 \pm 0,9$ mmHg y $6,6 \pm 0,7$ mmHg ($F = 6,67$; $p = 0,02$). Para los protocolos de 12 RM, la variación con intervalo 1:3 fue de $15,2 \pm 1,1$ mmHg y con intervalo 1:5 fue de $8,4 \pm 0,7$ mmHg ($F = 5,12$; $p = 0,04$).

Los resultados para la PAS se mostraron más sensibles a la manipulación de las tres variables del entrenamiento, tomadas aislada o combinadamente. Eso repercutió sobre el comportamiento del DP, en una relación directamente proporcional al número de repeticiones máximas ($F = 4,57$; $p = 0,036$) y al número de series ($F = 141,38$; $p < 0,001$), mientras que inversamente proporcional al intervalo entre las series ($F = 5,38$; $p = 0,006$).

La Figura 3 presenta los resultados para las verificaciones post hoc referentes al DP.

La variación entre la primera y la tercera series realizadas con intervalo de 1:3 fue de 2.892 ± 189 mmHg.lpm para 6 RM y de 4.587 ± 300 mmHg.lpm para 12 RM ($F = 4,17$; $p = 0,018$). Cuando se aplicó el intervalo de mayor duración (1:5), la variación del DP para la carga de 6 RM fue de 1.224 ± 141 mmHg.lpm, al tiempo que para 12 RM se obtuvo un delta de 2.332 ± 194 mmHg.lpm ($F = 0,56$; $p = 0,58$).

Discusión

El presente estudio comparó las respuestas de FC, PAS y DP, durante series consecutivas de ejercicio de resistencia, realizado con diferentes números de repeticiones máximas e intervalos de recuperación, estos últimos establecidos con base en el tiempo total de ejecución de cada serie.

Tanto la FC como la PAS se elevaron significativamente en el transcurso de las series, independientemente de la intensidad e intervalo de recuperación. Mientras tanto, las respuestas cardiovasculares asociadas al leg press horizontal fueron minimizadas por la manipulación del tiempo de recuperación: cuando la proporción fue mayor en relación al tiempo de tensión, los valores de FC y, principalmente, de PAS, fueron inferiores. El mayor intervalo de recuperación también se asoció a una menor elevación de la FC y PAS en el transcurso de las series, en ambas intensidades programadas. Así, el ejercicio realizado con mayor intervalo de recuperación ocasionó menor estrés cardiovascular en las dos intensidades testeadas.

Es interesante notar que el valor medio para la PAS de pico en la última serie del estudio de Gotshall et al⁵, medida por fotoplestimografía, fue de 293 ± 21 mmHg, bien superior al valor registrado en la última serie del presente estudio (181 ± 16 mmHg para el protocolo de 12 RM con intervalo progresivo en la proporción 1:3). Esa diferencia puede ser atribuida al tiempo de tensión en cada serie (un minuto en el estudio de Gotshall et al⁵ versus 24 segundos en el presente estudio), pero también, y tal vez principalmente, a

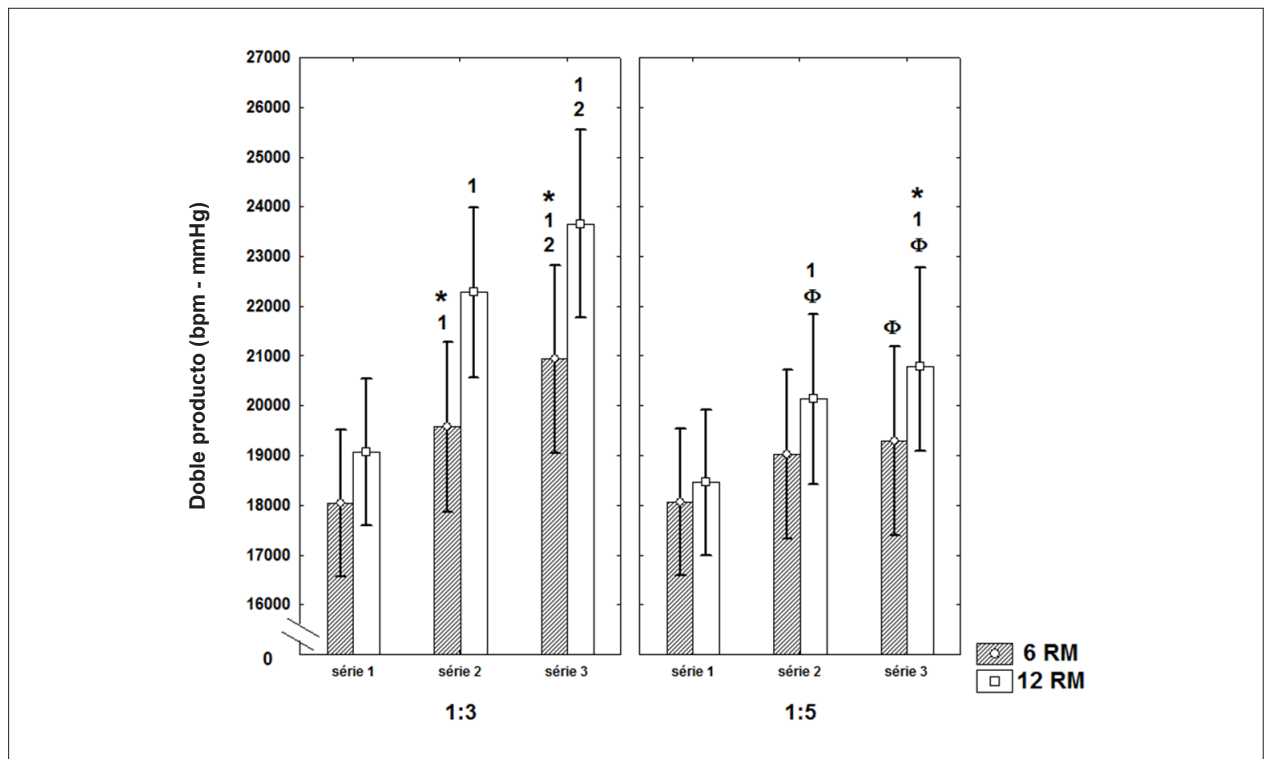


Fig. 3 - Doble producto para tres series del leg press ejecutado con 6 y 12 RM y diferentes intervalos de recuperación entre series (1:3 y 1:5). Los algarismos indican diferencia significativa en relación a la serie indicada ($p < 0,05$), * diferencia significativa en relación la 12RM para una dada serie ($p < 0,05$) y Φ diferencia significativa en relación al intervalo de recuperación para una dada serie ($p < 0,05$). Las barras representan intervalos de confianza para 95%.

la medida de la PA. Como se sabe, a pesar de ser satisfactorio para comparación entre diferentes protocolos de ejercicios de fuerza, el método auscultatorio realizado en miembro inactivo puede subestimar los valores presóricos absolutos^{14,15}. En otras palabras, el método auscultatorio es extremadamente útil en situaciones prácticas, habiéndose revelado válido y reproducible para indicar diferencias de las respuestas de PA a ejercicios de resistencia. Con eso, consiste en estrategia útil para la elaboración de sesiones de entrenamiento con menor sobrecarga cardiovascular. Por otro lado, el método auscultatorio no debería ser utilizado para el establecimiento preciso de los valores presóricos durante el ejercicio de fuerza.

Los estudios que profundizaron en la observación de la influencia del intervalo de recuperación entre series y ejercicios sobre el comportamiento de la PA y FC son relativamente escasos. No fue posible encontrar pesquisas que hubiesen investigado la cuestión en un abordaje similar al presentemente aplicado.

Polito et al⁹ sometieron jóvenes normotensos a 4 series de 8 RM, separadas por intervalos fijos de uno y dos minutos, también observando valores más elevados de presión arterial para la secuencia con menor intervalo. Las respuestas cardiovasculares más pronunciadas a cortos intervalos de recuperación pueden asociarse a una menor recuperación sistémica del estrés generado por el ejercicio. La acumulación de metabolitos, con consecuente estimulación nerviosa vía receptores químicos y mecánicos, puede potencializar esas respuestas¹⁶.

En ese sentido, Ratamess et al¹⁰ observaron los efectos de diferentes intervalos fijos de recuperación (30s, uno, dos, tres y 5 minutos) sobre las respuestas cardiovasculares y metabólicas durante la realización de 5 series en dos intensidades de entrenamiento (5 RM y 10 RM) en el ejercicio supino recto. No se constataron diferencias entre los intervalos de recuperación, considerando los valores de FC de pico en ambas intensidades de entrenamiento. Mientras tanto, hubo aumento de la FC a medida que las series eran ejecutadas ($p < 0,05$), principalmente para intervalos de recuperación más cortos. La producción de lactato fue igualmente mayor para intervalos de recuperación más cortos, lo que es sugestivo de la relación entre fatiga acumulada debido a la recuperación insuficiente y a las respuestas cardiovasculares.

Los presentes resultados indicaron que la carga de trabajo también puede influenciar de forma independiente las respuestas de FC y PAS. En comparación con el protocolo con carga de 12 RM, las series hechas con 6 RM presentaron menor impacto sobre las respuestas cardiovasculares para intervalos de recuperación similares. Es posible que el tiempo de tensión (6 RM = $17 \pm 3s$ versus 12 RM = $29 \pm 5s$) esté relacionado con esos resultados. Esa posibilidad ratifica los resultados relacionados por Lamotte et al¹⁷, los cuales analizaron el efecto de la ejecución de la extensión de rodillas en la silla, con cargas equivalentes a 40% y 70% de un RM (4 series con un minuto de intervalo entre series), sobre las respuestas de FC y PA en cardíopatas. La duración media de las series envolviendo intensidad de 40% fue de 34s (para 17 repeticiones), contra

20s de la serie conducida con 70% de la carga máxima (para 10 repeticiones). Hubo diferencia significativa para los valores de pico de PAS, con mayor sobrecarga cardíaca para el protocolo de menor intensidad ($p < 0,01$). Se verificó efecto acumulativo de las series sobre la presión arterial ($p < 0,01$), lo que fue atribuido por los autores al corto intervalo de recuperación aplicado.

En el presente estudio, también ocurrió un efecto acumulativo de las series sobre las respuestas de FC y PAS, con mayor elevación a partir de la segunda serie, principalmente para un menor intervalo esfuerzo-recuperación. De forma similar, Gotshall et al⁵ aplicaron tres series de 10 RM en el leg press bilateral en jóvenes sanos (intervalo de recuperación fijo de tres minutos; velocidad de tres segundos en las fases concéntrica y excéntrica). Al término de cada una de las series, los valores de PAS y PAD se revelaron siempre significativamente superiores al observado en la serie precedente. Otros estudios han demostrado que hay influencia del número de series sobre las respuestas cardiovasculares^{2,17}.

Dos factores pueden estar en el origen de los resultados referentes al efecto acumulativo de las series consecutivas sobre las respuestas cardiovasculares. El primero resultaría de la fatiga acumulada en virtud del menor tiempo de recuperación¹⁸. El segundo tiene en consideración el tiempo de tensión: el ejercicio dinámico de resistencia ocasiona oclusión de los vasos y puede, dependiendo de su intensidad y duración, llevar a una respuesta barorreflexa compensatoria, lo que es más frecuente en ejercicios ejecutados hasta la fatiga^{19,20}.

Las respuestas hemodinámicas al trabajo muscular en ejercicios de resistencia también pueden estar conectadas a un aumento de la actividad simpática y a la disminución de la actividad parasimpática, por la mayor activación de comando central y mecanorreceptores musculares y articulares¹⁶. El mecanismo central envuelve el envío de impulsos del córtex motor para el centro de control cardiovascular. El mecanismo periférico consiste en una vía de reflejo con diversas bases de control²¹. El aumento de la resistencia vascular periférica, causado por la oclusión parcial del flujo sanguíneo, contribuye a un desequilibrio entre oferta y demanda de O_2 en el tejido. De hecho, a partir de 15% de la contracción voluntaria máxima, se verifica impedimento progresivo del flujo sanguíneo muscular²². Con eso, se dificulta la remoción de metabolitos (lactato, hidrógeno, fosfato, adenosina, potasio etc.), estimulándose los quimiorreceptores en el sentido de aumentar la actividad nerviosa simpática¹⁶.

En fin, el aumento de la presión arterial también podría sufrir influencia del número de unidades motoras solicitadas. En ese caso, mecanorreceptores musculares y articulares, sensibles al aumento de la fuerza voluntaria (reclutamiento de unidades motoras) y a la carga sobre las articulaciones, informan al centro de control cardiovascular sobre la necesidad de modificar las respuestas cardiovasculares para la regulación del flujo²³.

El aumento de la resistencia vascular periférica asociada a la oclusión arterial durante el ejercicio es otro factor a ser considerado. El leg press, además de envolver diversos y grandes grupos musculares, también es hecho en una postura que puede dificultar la perfusión de sangre hacia los músculos activos, una vez que las principales arterias que los irrigan

tienen su curso modificado por la flexión de la cadera²⁴. Ese problema es aun mayor durante el período de transición entre las fases concéntrica y excéntrica. En ese contexto, la activación de barorreceptores y quimiorreceptores puede provocar respuesta presórica compensatoria, para que se alcance un débito cardíaco satisfactorio durante los ejercicios.

Las respuestas cardiovasculares al ejercicio de resistencia, por lo tanto, pueden asociarse a una adaptación central frente a la mayor resistencia periférica. La mayor necesidad de perfusión estaría directamente relacionada a la capacidad inotrópica del corazón, ya que modificaciones en la FC tienden a ocurrir de forma más lenta que en la PAS²⁵. Esa sobrecarga presórica asociada al ejercicio de resistencia puede ser benéfica desde el punto de vista profiláctico, principalmente para portadores de enfermedades cardiovasculares crónicas y usuarios de medicación antihipertensiva²⁶. Algunos estudios han relatado que coronarios, bajo tratamiento farmacológico, pueden realizar ejercicios de resistencia de intensidad moderada y los resultados de esa práctica incluyen la mejora de la función global del ventrículo izquierdo, especialmente de la fracción de eyección^{26,27}.

En cuanto a la elevación de la FC, el tiempo de tensión muscular parece ejercer importante influencia. Hunter et al²⁸ compararon las respuestas metabólicas y de la frecuencia cardíaca a 10 ejercicios hechos con dos velocidades de contracción, una 'tradicional' (2 series de 8 repeticiones con 65% de un RM, velocidad de ejecución de un segundo para la fase concéntrica y excéntrica, un minuto de recuperación) y 'super slow' (2 series de 8 repeticiones con 25% de un RM, velocidad de ejecución de 10s para la fase concéntrica y 5s para la fase excéntrica, con mismo intervalo y número de ejercicios). Se verificó que el protocolo 'tradicional' indujo elevación significativamente superior de la FC en comparación con el 'super slow' (143 ± 8 lpm contra 113 ± 12 lpm).

Kleiner et al⁴ estudiaron la respuesta cardiovascular aguda en el ejercicio isocinético en 6 sujetos que realizaron extensión de rodillas con tres velocidades de ejecución (50, 100 y 200°/s) hasta la fatiga (70% del pico de torque). No fueron encontradas diferencias significativas entre los valores de FC, PAS, PAD y DP. Con todo, en las velocidades programadas, los valores de FC variaron entre $163,3 \pm 28,4$ lpm (50°/s) y $183,5 \pm 16,8$ lpm (200°/s). Contrariamente, los valores de PAS fueron superiores para una menor velocidad angular (PAS = $348,2 \pm 18,1$ mmHg para 50°/s versus PAS = $335,5 \pm 27,4$ mmHg para 200°/s), con influencia sobre el DP (50°/s = 56.861 ± 514 mmHg.lpm; 100°/s = 58.875 ± 479 mmHg.lpm; 200°/s = 61.564 ± 460 mmHg.lpm). Los autores justifican sus resultados por la característica de las sesiones, habiendo variado el número de repeticiones entre 30 (50°/s), 80 (100°/s) y 140 (200°/s).

Como los protocolos con mayor velocidad ofrecen menor resistencia, y, una vez habiendo producido cantidad significativamente mayor de repeticiones, la ejecución del ejercicio se habría aproximado a lo que se encuentra en ejercicios dinámicos continuos de larga duración, con mayor repercusión sobre la FC. Por otro lado, la elevación de la PAS para menores velocidades estaría relacionada a una mayor producción de fuerza, en comparación con las mayores velocidades angulares.

Extrapolar resultados obtenidos en ejercicios isocinéticos para dinámicos del tipo 'isotónico' no es, en general, prudente. Mientras tanto, no se puede dejar de notar que el efecto del tiempo de tensión sobre la FC es ratificado por los resultados de Kleiner et al⁴, así como aparece nítido que los valores de la PAS son sensibles a la tensión producida, con fuerte influencia sobre el DP.

Otro ejemplo es encontrado en Kawano et al²⁹, que sometieron normotensos jóvenes y de media edad a una serie en el ejercicio de leg press con tres intensidades (40%, 60% y 80% de un RM). No hubo diferencia para los valores de FC en las intensidades testeadas, en cualquiera de los grupos. Mientras tanto, los jóvenes presentaron mayores valores presóricos de pico que los sujetos de media edad en todas las intensidades, aunque de forma significativa apenas para la intensidad de 80% de un RM (jóvenes = 190 mmHg versus media edad = 150 mmHg, $p < 0,05$). La amplitud de variación de la PAS en relación al reposo (Δ) ocurrió de forma significativa para todas las intensidades, siendo mayor en los jóvenes, tal vez por exhibir menores valores de reposo de forma general (40% RM: jóvenes = 34 mmHg versus media edad = 18 mmHg; 60% RM: jóvenes = 54 mmHg versus media edad = 31 mmHg; 80% RM: jóvenes = 73 mmHg versus media edad = 42 mmHg, $p < 0,05$).

Se desprende de esos resultados que la medición única de la FC puede no ser suficiente para evaluar adecuadamente la sobrecarga cardiovascular impuesta por el ejercicio de resistencia. Se estimula, por lo tanto, la medida de la PA en el delineamiento de programas de entrenamiento de la fuerza, sobre todo para sujetos en los cuales mantener esas respuestas bajo control es deseable (pacientes en rehabilitación cardíaca, por ejemplo). Para eso, el protocolo de medición de la presión arterial, durante ejercicios de resistencia a través del método auscultatorio, propuesto por Polito y Farinatti¹³ y posteriormente validado¹⁴, parece ser una opción viable y accesible a la mayor parte de los centros de entrenamiento.

En conclusión, series múltiples de ejercicio de resistencia para miembros inferiores acarrearán elevación significativa y acumulativa de las respuestas cardiovasculares, especialmente de PA, con impacto sobre el DP. El nivel de estrés cardiovascular asociado al ejercicio no dependió apenas de la carga de trabajo definida en términos de repeticiones máximas,

sino también de las demás variables del entrenamiento, principalmente el número de series. Por otro lado, intervalos de recuperación más largos entre las series contribuyeron significativamente a la reducción de las respuestas de FC, PA y DP, manteniéndose la carga y volumen de entrenamiento. La proporción entre tiempo de estímulo y tiempo de recuperación, por sí sólo, acarrió modificaciones significativas en las respuestas cardiovasculares, independientemente del número de repeticiones máximas ejecutado. De ese modo, el planeamiento de los intervalos de recuperación en el contexto de la elaboración de sesiones de entrenamiento de resistencia parece ser un aspecto clínicamente importante para el aumento de la seguridad en su práctica, especialmente en poblaciones con mayor riesgo cardiovascular.

Estudios adicionales deben ser conducidos, comparando las respuestas hemodinámicas asociadas a diferentes estrategias para la relación esfuerzo-recuperación (intervalos fijos, intervalos progresivos, fraccionamiento de series, alternancia de segmentos, etc). Investigaciones en tal sentido son importantes para establecer el método más efectivo para minimizar la sobrecarga cardiovascular asociada a series múltiples de ejercicios de resistencia, al mismo tiempo en que se mantiene elevado el volumen de trabajo en las sesiones de entrenamiento.

Agradecimientos

Ese estudio fue parcialmente financiado por el CNPq (proceso 305729/2006-3) y por la FAPERJ (proceso E26/102.916/2008).

Potencial Conflicto de Intereses

Declaro no haber conflicto de intereses pertinentes.

Fuentes de Financiamiento

El presente estudio fue financiado por el CNPq y parcialmente financiado por la FAPERJ.

Vinculación Académica

No hay vinculación de este estudio a programas de post-grado.

Referencias

1. Benn SJ, McCartney N, McKelvie RS. Circulatory responses to weight lifting, walking, and stair climbing in older males. *J Am Geriatr Soc.* 2003; 44 (2): 121-5.
2. MacDougall JD, Tuxen D, Sale DG, Moroz JR, Sutton JR. Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *J Appl Physiol.* 1985; 58 (3): 785-90.
3. Polito MD, Simão R, Lira V, Nóbrega ACL, Farinatti PT. Série fracionada da extensão de perna proporciona maiores respostas cardiovasculares que séries contínuas. *Arq Bras Cardiol.* 2008; 90 (6): 382-7.
4. Kleiner DM, Blessing DL, Mitchell JW, Davis WR. A description of the acute cardiovascular responses to isokinetic resistance at three different speeds. *J Strength Cond Res.* 1999; 13 (4): 360-6.
5. Gotshall R, Gootman J, Byrnes W, Fleck S, Valovich T. Noninvasive characterization of the blood pressure response to the double-leg press exercise. *JEPonline.* 1999; 2 (4): 1-6.
6. Haslam DRS, McCartney N, McKelvie RS, MacDougall JD. Direct measurements of arterial blood pressure during formal weightlifting in cardiac patients. *J Cardiopulm Rehabil.* 1988; 8 (6): 213-25.
7. Overend T, Versteegh T, Thompson E, Birmingham T, Vandervoort A. Cardiovascular stress associated with concentric and eccentric isokinetic exercise in young and older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2000; 55 (4): 177-82.
8. Sale DG, Moroz DE, McKelvie RS, MacDougall JD, McCartney N. Effect of training on the blood pressure response to weight lifting. *Can J Appl Physiol.*

- 1994; 19 (1): 60-74.
9. Polito MD, Simão R, Nóbrega ACL, Farinatti PTV. Pressão arterial, frequência cardíaca e duplo-produto em séries sucessivas do exercício de força com diferentes intervalos de recuperação. *Rev Port Ciênc Desp.* 2004; 4 (3): 7-15.
 10. Ratames NA, Falvo MJ, Mangine GT, Hoffman JR, Faigenbaum AD, Kang J. The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2007; 100 (1): 1-17.
 11. Willardson JM, Burkett LN. A comparison of 3 different rest intervals on the exercise volume completed during a workout. *J Strength Cond Res.* 2005; 19 (1): 23-6.
 12. Sociedade Brasileira de Cardiologia. V Diretrizes brasileiras de hipertensão arterial. *Arq Bras Cardiol.* 2007; 89 (3): e24-79.
 13. Polito MD, Farinatti PTV. Considerações sobre a medida da pressão arterial em exercícios contra-resistência. *Rev Bras Med Esporte.* 2003; 9 (1): 1-9.
 14. Polito MD, Lira VA, Nóbrega ACL, Farinatti PTV. Blood pressure assessment during resistance exercise: comparison between auscultation and Finapres. *Blood Press Monit.* 2007; 12 (2): 81-6.
 15. Wiecek E, McCartney N, McKelvie R. Comparison of direct and indirect measures of systemic arterial pressure during weightlifting in coronary artery disease. *Am J Cardiol.* 1990; 66 (15): 1065-9.
 16. Rowell LB, O'Leary DS. Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. *J Appl Physiol.* 1990; 69 (2): 407-18.
 17. Lamotte M, Niset G, Van de Borne P. The effect of different intensity modalities of resistance training on beat-to-beat blood pressure in cardiac patients. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2005; 12 (1): 12-7.
 18. Willardson JM. A Brief review: factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets. *J Strength Cond Res.* 2006; 20 (4): 978-84.
 19. Negrão CE, Rondon MUPB. Exercício físico, hipertensão e controle barorreflexo da pressão arterial. *Rev Bras Hipertens.* 2001; 8 (1): 89-95.
 20. MacDougall JD, McKelvie RS, Moroz DE, Sale DG, McCartney N, Buick F. Factors affecting blood pressure during heavy weight lifting and static contractions. *J Appl Physiol.* 1992; 73 (4): 1590-7.
 21. Carrington CA, Ubolsakka C, White MJ. Interaction between muscle metaboreflex and mechanoreflex modulation of arterial baroreflex sensitivity in exercise. *J Appl Physiol.* 2003; 95 (1): 43-8.
 22. Edwards RH, Wiles CM. Energy exchange in human skeletal muscle during isometric contraction. *Circ Res.* 1981; 48 (6 Pt 2): 111-7.
 23. Prabhakar NR, Peng YJ. Peripheral chemoreceptors in health and disease. *J Appl Physiol.* 2004; 96 (1): 359-66.
 24. Lewis SF, Snell PC, Taylor WF, Hamra M, Graham RM, Pettinger WA, et al. Role of muscle mass and mode of contraction in circulatory responses to exercise. *J Appl Physiol.* 1985; 58 (1): 146-51.
 25. McCartney N. Acute responses to resistance training and safety. *Med Sci Sports Exerc.* 1999; 31 (1): 31-7.
 26. Marchionni N, Fattoroli F, Fumagalli S, Oldridge N, Del Lungo F, Morosi L, et al. Improved exercise tolerance and quality of life with cardiac rehabilitation of older patients after myocardial infarction: results of a randomized, controlled trial. *Circulation.* 2003; 107 (17): 2201-6.
 27. Sociedade Brasileira de Cardiologia. I Diretriz de reabilitação cardíaca. *Arq Bras Cardiol.* 2005; 84 (5): 431-40.
 28. Hunter GR, Seelhorst D, Snyder S. Comparison of metabolic and heart rate responses to super slow contra traditional resistance training. *J Strength Cond Res.* 2003; 17 (1): 76-81.
 29. Kawano H, Nakagawa H, Onodera S, Higuchi M, Miyachi M. Attenuated increases in blood pressure by dynamic resistance exercise in middle-aged men. *Hypertens Res.* 2008; 31 (5): 1045-53.