



Universidade de Brasília

**FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EDUCAÇÃO FÍSICA**

**INVESTIGAÇÃO DOS IMPACTOS DO INTERVALO DE RECUPERAÇÃO NA
FUNÇÃO NEUROMUSCULAR DE INDIVÍDUOS SADIOS JOVENS SUBMETIDOS
AO EXERCÍCIO RESISTIDO AGONISTA-ANTAGONISTA PAREADO EM SÉRIES**

Euler Alves Cardoso

BRASÍLIA

18.06.2019



Universidade de Brasília

**INVESTIGAÇÃO DOS IMPACTOS DO INTERVALO DE RECUPERAÇÃO NA
FUNÇÃO NEUROMUSCULAR DE INDIVÍDUOS SADIOS JOVENS SUBMETIDOS
AO EXERCÍCIO RESISTIDO AGONISTA-ANTAGONISTA PAREADO EM SÉRIES**

Euler Alves Cardoso

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Educação Física da Faculdade de Educação Física de Brasília (UnB), como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Educação Física.

ORIENTADOR: PROF. Dr. RODRIGO LUIZ CARREGARO

**INVESTIGAÇÃO DOS IMPACTOS DO INTERVALO DE RECUPERAÇÃO NA
FUNÇÃO NEUROMUSCULAR DE INDIVÍDUOS SADIOS JOVENS SUBMETIDOS
AO EXERCÍCIO RESISTIDO AGONISTA-ANTAGONISTA PAREADO EM SÉRIES**

Membros da banca examinadora para defesa de tese de Doutorado de Euler Alves Cardoso, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física (PPGEF), da Faculdade de Educação Física, Universidade de Brasília, em 18 de junho de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo Luiz Carregaro

(Presidente) Universidade de Brasília (UnB)

Prof. Dr. Martim Francisco Bottaro Marques

(Membro titular interno) Universidade de Brasília (UnB)

Prof. Dr. Silvio Assis Oliveira Júnior

(Membro titular externo) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

Prof. Dr. Frederico Riberio Neto

(Membro titular externo) Hospital Sarah Kubitschek (Rede Sarah)

Prof. Dr. Ricardo Moreno Lima (Suplente)

Universidade de Brasília (UnB)

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos que sempre sonharam comigo:
Minha família, Minha mãe Cierlene, minhas irmãs Cecilia e Cinthia:

“É o que eu digo e faço, não suponho
sou milionário do sonho
É difícil pra um menino brasileiro
sem consideração da sociedade
Crescer um homem inteiro, muito mais do que metade
Fico olhando as ruas
as vielas que ligam meu futuro ao meu passado
E vejo bem como driblei o errado, até fazer taxista crer
Que posso ser mais digno
do que um bandido branco e becado”

Emicida

Com a minha avó, aprendi que ter coragem não é ser valente, que dignidade vale muito mais
que dinheiro, que minha cor carrega uma história de peso e que tudo começa pelo respeito.
Com minha mãe, aprendi o que é o amor verdadeiro, e que no esporte, ninguém teria o direito
de me descrever e ser, eu poderia ser muito mais.
Com meu pai, aprendi que sempre tem lugar para o perdão.
Com minhas irmãs, aprendi que confusão faz parte e que pensamentos diferentes não podem
significar segregação, e sim, evolução.
Com meus sobrinhos aprendi que amor é sangramento que não se estanca.
Minha família, meu maior legado, minha raiz, é graças a vocês que cheguei até aqui.
Obrigado.

Minha esposa, Marcela:

“Meu dia-a-dia é mais tranquilo até o momento em que minha cabeça me leva até você.
Minha cabeça me trai, o coração aperta, a atenção esvanece o frio na barriga... Com tantos
sintomas a saudade até parece doença, mas sei que a cura é a sua presença...”

Bob Marley

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Meu sincero agradecimento ao prof. Rodrigo Carregaro.

O título de doutor tem um significado muito, muito especial em minha vida, e tudo isso foi possível pela sua confiança depositada em mim.

Agradeço por toda a confiança e parceria desde de julho de 2012, quando me escolheu para ser seu primeiro orientando de mestrado.

Desde então, foram sete anos de muito aprendizado, sou grato por ter compartilhado este longo período com uma pessoa extremamente competente, que me instigou a buscar excelência na pesquisa e na minha vida prática diária.

Toda a experiência e conhecimento adquiridos com você fez toda a diferença na minha vida profissional.

Experiências como estas, de orientação, amizade, conselhos devem ser valorizadas.

Muito Obrigado!!!

AGRADECIMENTO

Agradeço à Deus por todas as maravilhas que tem proporcionado em minha vida, dentre elas, a conclusão deste projeto.

Ao grupo de pesquisa Avaliação e Intervenção em Fisioterapia, em especial, o Adailson e Igor. Muito obrigado pela grande ajuda nas coletas e discussões.

Um agradecimento, em especial, ao meu pai/irmão que Brasília me deu, Felipe você abriu as portas da sua casa e do seu coração. Obrigado pelos finais de semanas que me tirava de casa para fazer qualquer coisa, quando achava que eu estava estudando demais, obrigado por me levar em todos os lugares que não conseguia chegar em Brasília. Obrigado por me fazer menos solitário em dias difíceis em Brasília.

Aos voluntários da pesquisa, pelo compromisso e seriedade durante todo o decorrer dos testes.

Ao Laboratório de Treinamento de Força, por permitir que desenvolvesse meu projeto.

À FAPDF (Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal) pelo fomento à pesquisa que permitiu o desenvolvimento do projeto.

À minha mãe, Cirlene do Socorro, minha melhor amiga, nenhuma distância é suficiente para separar o amor que sinto pela senhora, obrigado por me permitir voar.

A todos os familiares e amigos que me acompanharam durante toda essa caminhada, em especial, Marcela, Ruan, Ian, Gabriel, Wemerson.

Resumo

Contextualização: O exercício resistido é considerado um dos meios mais utilizados para aprimorar a capacidade funcional do sistema neuromuscular. Esses efeitos têm influência na determinação de uma excelente capacidade funcional e na prevenção de lesões esportivas. Com a finalidade de buscar melhores resultados com o exercício resistido, diversas estratégias têm sido utilizadas, dentre elas, exercício agonista-antagonistas pareado em séries (AAP). Resumidamente, o exercício AAP consiste em realizar, alternadamente, exercícios dos músculos agonistas e antagonistas de uma articulação. **Objetivo:** Analisar os efeitos de três diferentes intervalos de recuperação (IR) entre as ações musculares agonistas e antagonistas do exercício resistido AAP, no desempenho neuromuscular dos músculos agonistas e antagonistas de indivíduos jovens saudáveis. **Método:** A amostra foi composta por 50 voluntários saudáveis do sexo masculino, com média de 23.2 (2.8) anos de idade, 1.76 (0.10) metros de altura. Os voluntários compareceram em 3 momentos distintos com um intervalo de no mínimo 72 horas entre cada momento, nos quais foram realizado o mesmo protocolo de exercício AAP (exercícios concêntricos alternados dos antagonistas/agonistas (4 séries de 10 repetições de flexão do joelho seguidas por 10 repetições de extensão do joelho na velocidade de 60°/s) utilizando intervalos: imediato (ausência de intervalo), 60 segundos e 120 segundos. Para a análise dos dados, utilizou-se o programa SPSS versão 25.0. Inicialmente, os pressupostos de normalidade foram confirmados por meio do teste de Shapiro-Wilk para as variáveis: trabalho total, pico de torque e eficiência neuromuscular dos músculos extensores do joelho, e trabalho total, pico de torque, eficiência neuromuscular, ativação muscular e fadiga muscular dos músculos flexores do joelho. Aplicou-se uma análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas, com teste *post hoc* de Bonferroni, para verificar as diferenças entre os IR (para as variáveis trabalho total, pico de torque e eficiência neuromuscular dos músculos extensores do joelho e trabalho total, pico de torque, eficiência neuromuscular, ativação e fadiga muscular dos músculos flexores do joelho) e uma análise dentro do mesmo IR para verificar as diferenças ao longo das 4 séries de exercício. A significância adotada foi de 5% ($p < 0,05$), com intervalo de confiança de 95%. Para as variáveis, ativação e fadiga muscular dos músculos extensores o pressuposto de normalidade não foi atendido. Assim, utilizou-se o teste de Friedman com *post hoc* com comparações múltiplas pelo teste de Mann Whitney para comparar os diferentes IR. Nas comparações múltiplas, a significância de 5% foi corrigida para o total de comparações (12 comparações - 3 IR x 4 séries), sendo adotada uma significância corrigida de 0.4% ($p < 0,004$). O intervalo de confiança de 95% foi calculado utilizando os valores da média por ranque, desvio padrão e tamanho da amostra. **Resultados:** Para os músculos extensores do joelho não verificamos diferenças significantes entre os IR para o trabalho total, pico de torque e eficiência neuromuscular ($p > 0,05$). Verificamos diferenças significantes na ativação muscular entre os IR 60s versus 120s na série 2 ($p < 0,05$). A fadiga muscular foi significativamente menor no intervalo IM versus intervalo de 60s, nas séries 3 e 4 ($p < 0,05$) e entre os intervalos de 60s e 120s a diferença ocorreu na série 4 ($p < 0,05$). Os resultados dentre os IR demonstraram uma diminuição progressiva do trabalho total ao longo das séries nos intervalos IM ($p < 0,05$) e 60s ($p < 0,05$). O pico de torque apresentou diferenças significantes nos intervalos IM (série 1 a 3) e 60s (série 2 e 4) ($p < 0,05$). A eficiência neuromuscular apresentou diferenças significantes apenas no intervalo IM (série 1 a 4) ($p < 0,05$). Não verificamos diferenças significantes na ativação muscular e na fadiga muscular ao longo das séries, nos IR investigados ($p > 0,05$). Para os músculos flexores do joelho não verificamos diferenças significantes entre os IR para o trabalho total, pico de torque, eficiência neuromuscular e ativação muscular ($p > 0,05$). Na fadiga muscular, houve diferenças entre o intervalo IM versus os intervalos de 60s e 120s, as diferenças ocorreram nas séries 2, 3 e 4 ($p < 0,05$) e na comparação dos intervalos 60s, e 120s as

diferenças foram nas séries 2 e 3 ($p < 0,05$). Os resultados entre as séries usando o mesmo IR demonstrou diferenças significantes no trabalho total no intervalo IM (séries 1 a 4, ($p < 0,05$), 60s (séries 2 a 3 $p < 0,05$), e 120s (série 1 versus a série 3 e 4 $p < 0,05$). O pico de torque apresentou diferenças significantes no intervalo IM (série 1 a 3, $p < 0,05$). A eficiência neuromuscular apresentou diferenças significantes no intervalo IM (séries 1 versus 3 e 4, $p < 0,05$) e 60s, série 1 e 4 ($p < 0,05$). A ativação muscular apresentou diferenças significantes ($p < 0,05$) entre as 4 séries no intervalo IM. O índice de fadiga apresentou diferenças significantes ($p < 0,05$) ao longo das 4 séries nos intervalos IM, 60s e 120s. **Conclusão:** Os músculos extensores e flexores do joelho respondem de forma similar, sob a influência dos intervalos de recuperação, durante a execução do exercício agonista-antagonista pareado em séries em homens jovens saudáveis. Entretanto, os músculos extensores são mais suscetíveis à fadiga muscular em comparação aos músculos flexores. Ressalta-se que nenhum dos intervalos foi suficiente para a manutenção do trabalho total (volume do exercício) ao longo das séries. Portanto, se o treinamento é prescrito com a finalidade de manter o volume do treino, nossos achados recomendam a adoção de um intervalo mais longos (120s). De modo contrário, se o intuito do treinamento é proporcionar e maiores níveis de fadiga durante a sessão e hipertrofia muscular um intervalo curto (IM ou 60s) pode ser recomendado.

Descritores: força, isocinético, recuperação, fadiga, eletromiografia.

Abstract

Contextualization: Resistance exercise is considered one of the most used means to improve the functional capacity of the neuromuscular system. These effects influence the determination of the excellent functional capacity and the prevention of sports injuries. In order to obtain better results with resistance exercise, several strategies have been used, among them, series-agonist-paired exercise (AAP). Briefly, the AAP exercise consists of performing, alternately, exercises of the agonist and antagonist muscles of a joint. **Objective:** To analyze the effects of three different recovery intervals (IR) between agonist and antagonist actions of AAP resistance exercise on the neuromuscular performance of the agonist and antagonist muscles of healthy young individuals. **Method:** The sample consisted of 50 healthy male volunteers, with a mean of 23.2 (2.8) years of age, 1.76 (0.10) meters in height. The volunteers presented at 3 different moments with a minimum interval of 72 hours between each moment, in which the same AAP exercise protocol (alternating concentric exercises of the antagonists/agonists (4 sets of 10 repetitions of knee flexion followed by 10 repetitions of knee extension at 60°s) using intervals: immediate, 60 and 120 seconds. For the analysis of the data, the program SPSS version 25.0 was used. Initially, normality assumptions were confirmed using the Shapiro-Wilk test for the variables total work, peak torque, and neuromuscular efficiency of the knee extensor muscles, and total work, peak torque, neuromuscular efficiency, muscle activation and muscle fatigue of the knee flexor muscles. An analysis of variance (ANOVA) with repeated measures, with post hoc Bonferroni test, was used to verify the differences between the IR (for the variables total work, peak torque and neuromuscular efficiency of knee extensor muscles and total work, peak torque neuromuscular efficiency, muscle activation and muscle fatigue of the knee flexor muscles) and an analysis of the same IR to verify the differences between the exercise series in each IR analyzed. The significance was 5% ($p < 0,05$), with a 95% confidence interval. For the variable's activation and fatigue of the extensor muscles, the normality assumption was not met. Thus, the Friedman test with post hoc with multiple comparisons was used by the Mann Whitney test to compare the different IRs. In the multiple comparisons, the significance of 5% was corrected for the total comparisons (12 comparisons - 3 IR x 4 sets), with a corrected significance of 0.4% ($p < 0,004$) adopted. The 95% confidence interval was calculated using the mean values by ranch, standard deviation and sample size. **Results:** For the knee extensor muscles we did not find significant differences between the IRs for total work, peak torque and neuromuscular efficiency ($p > 0,05$). We found significant differences in muscle activation between the IR 60s versus 120s in the set 2 ($p = 0,004$). Muscle fatigue was significantly lower in the IM interval compared to the 60s interval in the 3 and 4 set ($p = 0,004$) and between the 60s and 120s intervals the difference occurred in the 4 set ($p = 0,004$). The results among the IR showed a progressive decrease of the total work over the series in the IM intervals ($p = 0,04$) and 60s ($p = 0,00$). Peak torque showed significant differences in the IM intervals (sets 1 to 3) and 60s (set 2 and 4) ($p < 0,05$). The neuromuscular efficiency showed significant differences only in the IM interval (set 1 to 4) ($p < 0,01$). We did not find significant differences in muscle activation and muscle fatigue throughout the series, in the IR investigated ($p > 0,05$). For the knee flexor muscles, we did not find significant differences between the IRs for total work, peak torque, neuromuscular efficiency and muscle activation ($p > 0,05$). In muscle fatigue, there were differences between the IM interval when compared to the 60s and 120s intervals, the differences occurred in the 2, 3 and 4 set ($p = 0,01$) and in the comparison of the 60s intervals, and 120s the differences were in the 2 set and 3. ($p = 0,02$). The results between the set using the same IR showed significant differences of the total work in the IM interval (set 1 to 4, $p = 0,02$), in the range of 60s (set 2 to 3 $p = 0,03$), and 120s (set 1 versus set 3 and 4 $p = 0,01$). Peak torque showed significant differences in the IM interval (set 1 to 3, $p < 0,05$). The neuromuscular

efficiency showed significant differences in the IM interval (set 1 versus 3 and 4, $p < 0,05$) and 60s, set 1 and 4 ($P < 0,05$). The muscle activation showed significant differences ($P < 0,05$) among the 4 set in the IM interval. Fatigue index presented significant differences ($p < 0,05$) over the 4 set in the IM, 60s and 120s intervals. **Conclusion:** The knee extensor and flexor muscles respond similarly, under the influence of recovery intervals, during the performance of paired agonist-antagonist exercise in series. It should be noted that none of the intervals was enough to maintain the total work (exercise volume) throughout the set in healthy young men. Therefore, if training is prescribed for the purpose of maintaining training volume, our findings recommend adopting a longer interval (120s). Conversely, if training is intended for muscle hypertrophy and increased levels of fatigue during the session, a short interval (IM or 60s) may be recommended.

Key words: strength, isokinetic, recovery, fatigue, electromyography.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Ilustração que representa o desenho do estudo. A ordem dos intervalos de recuperação foi aleatorizada, para cada sujeito (IR: intervalo de recuperação)43
- Figura 2.** Ilustração do dinamômetro isocinético utilizado na pesquisa46
- Figura 3.** Ilustração do posicionamento dos eletrodos da eletromiografia (indicado pelo *) com base no método da SENIAM. No lado esquerdo o músculo vasto medial e, à direita, o bíceps femoral.....47
- Figura 4.** Assento utilizado para captação de sinal eletromiográfico do músculo Bíceps Femoral.....48
- Figura 5.** Ilustração que representa o exercício agonista antagonista pareado em séries. Inicialmente, realiza-se primeiras repetições de flexão do joelho (parte superior) e, em seguida, as repetições de extensão do joelho (parte inferior). A ordem dos intervalos de recuperação entre as ações de flexão e extensão foi aleatorizada, para cada sujeito (IR: intervalo de recuperação; IM: imediato; 60s: 60 segundos; 120s: 120 segundos) 50
- Figura 6.** Índice de fadiga do músculo vasto medial (agonista) do joelho (valores em porcentagem), gerado durante a realização do exercício AAP utilizando os intervalos de recuperação imediato (IM), 60 segundos e 120 segundos, * $p < 0,004$ diferença significativa entre IM vs 60 segundos; ‡ $p < 0,004$ diferença significativa entre 60 segundos vs 120 segundos.

.....58

Figura 7. Índice de fadiga dos músculos flexores (antagonista) do joelho (valores em porcentagem, x 100), gerado durante a realização do exercício AAP utilizando os intervalos de recuperação (IR) imediato (IM), 60 segundos e 120 segundos; * $p < 0,05$ diferença significativa entre IM vs 60s; ‡ $p < 0,05$ diferença significativa entre IM vs 120s; † $P < 0,05$ diferença significativa entre 60s vs 120s..... 62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados referentes ao trabalho total (TT, em Joule), pico de torque (PT, em N.m/kg) e eficiência neuromuscular (ENM) dos músculos extensores (agonistas) do joelho nos intervalos de recuperação (IR) imediato (IM), 60 segundos e 120 segundos. Dados apresentados em média (desvio padrão)56

Tabela 2. Valores da ativação (RMS em %CIVM), dos músculos extensores (agonista) do joelho nos intervalos de recuperação (IR) imediato (IM), 60 segundos e 120 segundos. Dados apresentados em mediana (intervalo interquartil)57

Tabela 3. Resultados referentes ao trabalho total (Joule), pico de torque (newton-metro/kg) e eficiência neuromuscular (N.m/microvolts), dos extensores do (agonista) joelho na comparação entre as séries de exercício, considerando-se os intervalos de recuperação investigados (IM, 60s e 120s). Dados apresentados em média (desvio padrão)60

Tabela 4. Resultados referentes à comparação da ativação muscular (Root Mean Square; em %CIVM) e índice de fadiga (IF; em %) dos músculos extensores (agonista) do joelho entre as séries, considerando-se os intervalos de recuperação investigados (IM, 60s e 120s). Dados apresentados em mediana (intervalo interquartil). O IC95% foi estimado pela da média por ranque de cada série61

Tabela 5. Resultados referentes ao trabalho total (TT, em Joule) e pico de torque (PT, em N.m/kg) dos músculos flexores (antagonista) do joelho nos intervalos de recuperação (IR)

imediate (IM), 60 segundos e 120 segundos. Dados apresentados em média (desvio padrão)
.....63

Tabela 6. Valores da e eficiência neuromuscular (ENM) e ativação muscular (RMS normalizado) dos músculos flexores (antagonista) do joelho nos intervalos de recuperação (IR) imediato (IM), 60 segundos e 120 segundos. Dados apresentados em média (desvio padrão) ...
.....64

Tabela 7. Resultados referentes ao trabalho total (Joule), pico de torque (newton-metro/kg) e eficiência neuromuscular (N.m/microvolts), na comparação entre as séries de exercício, considerando-se os intervalos de recuperação investigados dos músculos flexores (antagonista) de joelho. Dados apresentados em média (desvio padrão)67

Tabela 8. Resultados referentes a ativação muscular (RMS normalizado) e Índice de fadiga (%), na comparação entre as séries de exercício, considerando-se os intervalos de recuperação investigados dos músculos flexores (antagonista) de joelho. Dados apresentados em média (desvio padrão)69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAP	Agonista-antagonista Pareado em Séries
ANOVA	Análise de Variância
Ag/AgCl	(prata/cloreto de prata)
ATP/CP	Adenosina Trisfotato e Creatina Quinase
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CIVM	Contração Isométrica Voluntária Máxima
EMG	Eletromiografia
ENM	Eficiência Neuromuscular
ER	Exercício Resistido
SPSS	Statistical Package for Social Sciences
IF	Índice de Fadiga
IM	Imediato
IR	Intervalo de Recuperação
PT	Pico de Torque
SENIAM	Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscle
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TT	Trabalho Total
VM	Vasto Medial
RMS	Raiz Quadrática Média (<i>root mean square</i>)
UnB	Universidade de Brasília
60s	60 segundos
120s	120 segundos

Sumário

1. APRESENTAÇÃO	17
2. INTRODUÇÃO	25
3. JUSTIFICATIVA	28
4. OBJETIVOS	30
4.1. Objetivo Geral	30
4.2. Objetivos Específicos	30
5. HIPÓTESE DO ESTUDO	31
6. REVISÃO DE LITERATURA	32
6.1. O exercício resistido com pré-ativação muscular	32
6.2. Evidências sobre o método agonista-antagonista pareado em séries.....	34
6.3. Variáveis agudas do exercício resistido.....	38
7. MÉTODO	43
7.1. Desenho do estudo	43
7.2. Local.....	43
7.3. Participantes	44
7.4. Dinamometria Isocinética.....	45
7.5. Eletromiografia de superfície.....	46
7.6. Procedimentos	49
7.7. Processamento dos sinais.....	50
7.8. Análise estatística.....	52
8. RESULTADOS	55
8.1. Grupamento muscular agonista (extensores)	55
8.1.1. Comparações entre os intervalos de recuperação dos músculos extensores.....	55
8.1.2. Comparações dentro dos intervalos de recuperação dos músculos extensores	58
8.2. Grupamento muscular antagonista (flexores)	61
8.2.1. Comparações dos intervalos de recuperação dos músculos flexores	61
8.2.2. Comparações dentro dos intervalos de recuperação dos músculos flexores	65
9. DISCUSSÃO	70
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
11. REFERÊNCIAS	80
12. APÊNDICE	88
12.1. Apêndice I - Parecer Consubstanciado Do Cep.....	88
12.2. Apêndice II - Artigo publicado	95

1. APRESENTAÇÃO

SUPERAÇÃO E MOTIVAÇÃO PARA REALIZAR O ESTUDO

A graduação foi algo sempre distante da minha vida, nenhum dos meus familiares, até o momento, havia concluído um curso superior. No último ano do ensino médio, um professor da escola pública da qual eu estudava me “estimulou” a continuar estudando, dizendo que nem 5% dos alunos da minha turma concluiriam um curso superior. De fato, nunca tinha pensado em fazer graduação, mas a frase do professor ficou “martelando” na minha cabeça. Então, em um diálogo com minha mãe sobre cursar uma faculdade, ela me questionou qual curso eu tinha desejo de fazer, e para seu espanto eu não sabia, mas nossas conversas foram fluindo até quando ela sugeriu que eu fizesse algo que gostasse. Após algumas semanas, decidi que iria cursar Educação Física, pois sempre gostei de praticar esportes e ensinar. Certo dia, minha mãe me disse para eu fazer a inscrição do vestibular e, se conseguisse ser aprovado, ela daria um jeito de ajudar-me a pagar a faculdade.

Fui aprovado na Universidade Salgado de Oliveira no ano de 2004, e a cada semestre, eu e minha mãe comemorávamos juntos duas vitórias: aprovação em todas as disciplinas e pagamento das mensalidades. No sétimo semestre, fui apresentado ao Exercício Resistido pela professora Samyra Nery, foi amor à primeira vista, não imaginava que o simples fato de “pegar peso” poderia possibilitar diversas melhoras para o indivíduo. Entretanto, foi somente uma disciplina, tão pouco, mas o suficiente para eu mudar de estágio e começar a atuar em sala de musculação. Foi um tempo de muito aprendizado, aprendi a elaborar treinos de emagrecimento, hipertrofia, treinos para adultos e idosos entre outros. Mas o maior aprendizado foi compreender que ainda não sabia coisa alguma sobre prescrição de treinamento. Após terminar a graduação (2008/2), me matriculei (2009/01) em uma especialização sobre Exercícios Resistido. A cada

encontro da especialização, o amor pelo exercício resistido foi aumentando junto com o conhecimento sobre pesquisa.

Durante os dezesseis encontros da especialização, aprendi que os artigos são mais importantes que os livros. Conheci a pesquisa, aprendi sobre os diversos métodos de fazer pesquisa. Além disso, compreendi que algumas perguntas vindas das salas de musculação, não eram possíveis de ser respondidas, pois a literatura ainda era limitada para determinados assuntos relacionados a prescrição do exercício. Assim, surge o desejo de fazer pesquisa para responder várias perguntas que não tinham respostas concretas.

Na primeira orientação de trabalho final da especialização, fui surpreendido pelo meu Orientador, pois ele me informou que a pesquisa (estudo crônico) que desejava fazer era impossível de ser desenvolvida em uma especialização, suas palavras foram “Pesquisas com essa característica são complicadas, no Brasil, na maioria das vezes, são desenvolvidas em programas de pós-graduação stricto sensu”.

Chegando em casa após essa reunião, fui pesquisar sobre o termo “pós-graduação stricto sensu”. Durante a pesquisa, observei que o único programa de pós-graduação em Educação Física da região Centro Oeste era na Universidade de Brasília (UnB). No último edital do Programa de Pós-Graduação em Educação Física da UnB observei da necessidade do inglês. Naquela época, o programa exigia um curso de inglês instrumental ou uma prova de proficiência, o suficiente para eu desistir de partir para o mestrado no primeiro momento, e entrar em um curso de inglês.

Segui, estudando nos finais de semanas (especialização) e trabalhando na sala de musculação de duas academias. Uma das academias era próxima do campus da Universidade Federal de Goiás. A maioria dos alunos era de jovens estudantes, dentre esses jovens, conheci o Mário Flavio. Mário, ansioso, estava participando de uma seletiva de mestrado da Universidade de Viçosa. Desde então, nossas conversas foram sempre direcionadas para o

mestrado. Acompanhei todo o seu processo, ele foi aprovado. Percebendo meu entusiasmo com sua aprovação, e a minha curiosidade sobre o Programa de Pós-Graduação da Universidade de Viçosa-MG então, Mário, no seu último dia de academia antes de mudar para Viçosa, perguntou-me se tinha interesse em fazer mestrado, e se tinha coragem de ir para Viçosa - MG, claro que a resposta foi sim. Depois de mais ou menos um ano que Mário foi para Viçosa - MG ele entrou em contato e perguntou-me se ainda tinha interesse em fazer mestrado, e foi logo me passando o “caminho das pedras”.

Entrei em contato com o prof. João Carlos Bouzas Marins, e fui convidado a ir para a Universidade de Viçosa conhecer seu trabalho. Após três meses do primeiro contato com Prof. Marins, estava em Viçosa conhecendo seu laboratório. Foram três dias de novas experiências e aprendizado, fui encorajado pelo Prof. Marins a terminar a especialização e mudar para Viçosa. Essa mudança, segundo prof. Marins, seria importante, seria um ano de conhecimento sobre pesquisas e dedicação aos estudos para o processo seletivo do mestrado que aconteceria no final do ano seguinte. Voltei para Goiânia - Go decidido a terminar a especialização e mudar-me para Viçosa - MG. No início do ano de 2012 fui para Viçosa - MG, onde tive quatro meses de muito aprendizado. Nesse período, vivenciei muito o laboratório de pesquisa, consegui iniciar a escrita de um projeto e fui dar continuidade ao curso de inglês instrumental.

No terceiro mês que estava em Viçosa - MG, Prof. Marins informou que ficaria um ano fora da universidade, pois tinha sido convidado a fazer curso de Pós-Doutorado, fora do país. Quando se sentou comigo para contar a notícia, fiquei desesperado pois larguei muitas coisas para estar ali, e naquele momento ele iria se ausentar da universidade. Foram dias de desespero, vontade de voltar para casa, mas não queria me sentir fraco, nem voltar sem o título de mestre.

Nesse momento de desespero conheci o Rosivaldo, que hoje considero como meu irmão mais velho. A sua história é semelhante à minha: saiu do Maranhão e foi para Viçosa - MG, onde estava elaborando um projeto para participar do processo seletivo do Programa de Pós-

Graduação de Educação Física da Universidade de Brasília (UnB). Resolvi, também, me inscrever no processo seletivo da UnB, e aquele projeto que estava em desenvolvimento foi aprimorado (Tema: Influência de seis semanas de treinamento de força na pressão arterial de indivíduos jovens hipertensos).

Passei por todo o processo seletivo da UnB e fui aprovado no segundo semestre de 2012. Lembro-me que, antes de saber da aprovação, os professores Rodrigo Carregaro e João Durigan marcaram uma reunião comigo e lembro que o principal questionamento foi relacionado à possibilidade de mudar o tema do projeto. Informei que não tinha problemas em mudar, desde que o projeto fosse relacionado a Exercício Resistido. Assim, no segundo semestre de 2012 iniciou minha vida enquanto estudante de mestrado da UnB, e nasceu o grupo de pesquisa Avaliação e Intervenção em Fisioterapia, conduzido pelo meu orientador, Prof. Rodrigo Carregaro.

Muito aprendido ao longo do mestrado, o projeto que passei na seletiva não foi aproveitado e comecei a estudar sobre o método agonista-antagonista pareado em séries (AAP). Desenvolvemos um estudo ambicioso para o curso de mestrado e meus colegas de turma disseram que não iríamos conseguir, considerando o tempo hábil de um mestrado (2 anos). Pesquisas no mestrado, geralmente, são caracterizadas por serem estudos transversais ou modelos agudos (curta duração). Mas nosso grupo de pesquisa estava crescendo, foram inúmeras reuniões, e logo começamos a colocar o projeto em prática (um ensaio controlado e aleatório). Iniciamos o treinamento com cinquenta e dois voluntários, desses, quarenta e nove terminaram o treinamento (12 sessões). A conclusão das coletas só foi possível devido a ajuda de todos os membros do grupo de pesquisa.

Nossa pesquisa teve o propósito de analisar os efeitos crônicos do exercício agonista-antagonista pareado em séries no desempenho neuromuscular e funcional de indivíduos jovens. Com a produção do nosso primeiro estudo (1), respondemos perguntas relacionadas aos efeitos

do exercício resistido na funcionalidade do indivíduo. Doze sessões de exercícios AAP proporcionaram melhoras na funcionalidade comparado a um método tradicional (sem pré-ativação). No segundo estudo (2), verificamos que o aumento da força muscular agonista foi maior no grupo submetido ao exercício AAP, comparado ao um treino tradicional. Entretanto, o comportamento da ativação muscular foi similar entre os grupos.

Ao analisar nossos resultados e elaborar a discussão, foram surgindo outras perguntas, especificamente, sobre qual teste de equilíbrio deveríamos utilizar num futuro projeto. Na pesquisa adotamos dois testes, um dinâmico, denominado *Star Excursion Balance Test* e, uma plataforma de equilíbrio (padrão-ouro), como medida do equilíbrio estático. Para responder à pergunta, escrevemos o nosso terceiro estudo (3), no qual constatamos que não houve correlação entre duas variáveis uma medida estática e a outra dinâmica de equilíbrio, em indivíduos jovens. Tais achados indicaram que ambos os testes fornecem informações complementares para a compreensão do equilíbrio postural e devem ser utilizados conjuntamente.

Surgiram outros questionamentos, como por exemplo: será que um treino com exercício AAP poderia influenciar a relação isquiotibial/quadríceps (I/Q)? No trabalho de conclusão de curso de graduação de um membro do nosso grupo de pesquisa, verificamos que, ao realizar exercícios AAP e, comparando esse modelo com exercícios tradicionais, ambos os grupos apresentaram uma diminuição da relação I/Q. Contudo, o grupo que adotou o exercício AAP diminuiu somente 5,27% da relação I/Q, e o grupo que utilizou o treino tradicional teve uma diminuição de 13,99% (estatisticamente significante). A relação I/Q é uma razão entre a força muscular agonista dividida pela força muscular antagonista. Nossos resultados podem ter sido encontrados porque o grupo que utilizou a estratégia AAP realizou exercícios de flexão do joelho como pré-ativação dos extensores de joelho, e o grupo controle realizou somente

exercícios de extensão do joelho. Portanto, a relação pode ter sido afetada devido ao aumento da força dos flexores do joelho no grupo que realizou o exercício AAP.

Diversos estudos recomendam a utilização do exercício AAP, (2, 4-6) com a justificativa de que o método é mais eficaz para o aumento da força muscular e volume do treino dos músculos agonistas. Além de ser mais eficaz para o aumento da força dos músculos agonistas, os autores reforçam que o modelo de exercício AAP proporciona treinos com menor tempo de duração da sessão (7, 8). Vale ressaltar que o intervalo de recuperação entre as ações agonistas e antagonistas são negligenciados nas pesquisas. Curiosamente, poucos estudos (6, 8, 9) avaliaram o comportamento dos músculos antagonistas.

Em geral, o grupamento antagonista é considerado apenas como o “pré-ativador” do modelo de exercício AAP, e o foco dos estudos é direcionado para o grupamento agonista (musculatura principal). Assim, surgem mais dúvidas relacionadas ao método AAP. Será que a utilização do exercício AAP proporciona benefícios para os músculos agonistas e, também, para os músculos antagonistas? Ou os benefícios se mantêm apenas para os músculos agonistas? Os efeitos neuromusculares são semelhantes para os músculos agonistas e antagonistas, quando utilizamos exercício AAP? O intervalo de recuperação entre as ações agonistas e antagonistas poderia influenciar o desempenho neuromuscular dos músculos agonistas e dos antagonistas durante o exercício AAP? Entretanto, tais perguntas não poderiam ser respondidas durante o mestrado, mas ainda existia o desejo de continuar pesquisando (respondendo perguntas).

No último ano de mestrado tivemos uma excelente notícia: o Programa da Pós-Graduação em Educação Física da UnB foi muito bem avaliado no último quadriênio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e, conseqüentemente, foi criado o curso de Doutorado. Apesar do desejo de continuar pesquisando, não me sentia preparado, pois ainda precisava melhorar a escrita, o inglês, entre outros aspectos. Entretanto, meu orientador Prof. Rodrigo Carregaro surpreendeu-me quando perguntou se eu tinha

interesse em cursar o Doutorado. Disse que sim e aqui estou, imensamente feliz e terminando o doutorado. O garoto que sempre estudou em escola pública em Goiânia-GO, onde os próprios professores não acreditavam no ensino da escola, que entrou na graduação sem saber se iria terminar por motivos financeiros, conseguiu terminar o curso que gostava. Hoje, é completamente apaixonado e grato pela profissão na qual está concluindo o Doutorado.

A presente tese de Doutorado será apresentada com uma formatação próxima a um artigo científico (composto pela Introdução, Objetivos, Justificativa e Método), com o diferencial de incluir um referencial teórico (Revisão da literatura). Adicionalmente, a tese possui dois subtópicos distintos na seção de Resultados.

No primeiro subtópico (Grupamento muscular agonista - extensores do joelho), apresentamos os resultados do primeiro artigo, intitulado “Qual é o melhor intervalo de recuperação entre as ações agonistas e antagonistas do exercício resistido agonista-antagonista pareado em séries, para indivíduos adultos jovens?” (submetido ao periódico *Journal of Strength and Conditioning Research*), no qual o foco foi comparar os efeitos de diferentes intervalos de recuperação entre as ações musculares agonistas e antagonistas do exercício AAP, considerando-se os desfechos ativação muscular, fadiga e eficiência neuromuscular, em adultos jovens.

No subtópico seguinte, intitulado “Grupamento muscular antagonista - flexores do joelho”, apresentamos os resultados referentes ao segundo manuscrito (em processo de correção para submissão), no qual o foco foi verificar o comportamento das variáveis ativação muscular, fadiga e eficiência neuromuscular da musculatura antagonista (flexores) utilizando diferentes intervalos de recuperação entre as ações musculares agonistas e antagonistas do exercício AAP em adultos jovens. Por fim, apresentamos a seção de Discussão, integrando os achados dos dois artigos e colocando os resultados sob a perspectiva da literatura. No apêndice da tese, apresentamos um terceiro estudo publicado durante o Doutorado, intitulado “*Neuromuscular*

efficiency of the knee joint muscles in the early-phase of resistance training: effects of antagonist's muscles pre- activation", publicado na Revista Motricidade

2. INTRODUÇÃO

O exercício resistido (ER) é considerado um dos meios mais utilizados para aprimorar a capacidade funcional do sistema neuromuscular e promove melhora da resistência, força, potência e ativação muscular (10). Esses efeitos têm influência na determinação de uma ótima capacidade funcional e na prevenção de lesões esportivas (10-12).

Com a finalidade de buscar melhores resultados com o ER, diversos métodos de treinamento têm sido usados, dentre os quais aqueles que adotam a pré-ativação dos músculos antagonistas. O exercício agonistas-antagonistas pareado em séries (AAP) é um modelo de pré-ativação, e tem sido muito explorado na literatura (5, 13, 14). Resumidamente, o exercício AAP consiste em realizar, alternadamente, exercícios dos músculos agonistas e antagonistas de uma articulação.

Estudos prévios demonstraram que esses modelos de ER são mais eficazes no aumento da força, potência, manutenção do volume de treino e ativação muscular dos músculos agonistas, quando comparados a modelos tradicionais (sem pré-ativação) (5, 13, 15, 16).

Carregaro et al. (13) e Paz et al. (6) compararam os efeitos agudos do exercício AAP com um método sem pré-ativação, e demonstraram maiores índices de fadiga dos músculos agonista durante a execução do exercício AAP. Desse modo, há indicativos de que o método AAP é mais desgastante do que métodos tradicionais, demandando maior tempo para uma adequada recuperação muscular.

A maioria dos estudos encontrados na literatura (5, 6, 13) reportam os efeitos do exercício AAP somente nos músculos agonistas, mas, qual seria o comportamento dos músculos antagonistas? O exercício AAP é eficaz na geração de maior volume de treino,

associado a uma redução do tempo da sessão, comparado a métodos tradicionais sem pré-ativação (6, 8, 13, 16).

Robbins et al. (8) avaliaram os músculos agonistas e antagonistas quando foi aplicado o exercício AAP, e os resultados do estudo demonstraram que o volume total aumentou para ambos os grupamentos musculares, além disso, foi verificado quedas do volume do treino ao longo das séries, mas, os autores não compararam as diferenças do volume do treino entre os grupamentos musculares.

Programas de ER são delineados com base na manipulação das diversas variáveis do treino, como o volume, intensidade, ordem de execução dos exercícios, frequência semanal e intervalo de recuperação (IR) entre as séries do exercício (10, 17). Destaca-se a importância do IR nesse contexto, pois é uma variável que influencia diretamente a recuperação muscular e adaptações advindas do ER.

O IR entre séries pode afetar as respostas metabólicas (18), hormonais (19), bem como a realização das séries subsequentes (20). Do mesmo modo, a recuperação da força muscular e do volume de treinamento pode ser comprometido ao utilizar um IR insuficiente (21).

De acordo com Ratamess et al. (10), o IR deve ser ajustado conforme o nível de treinamento do indivíduo e o grau de complexidade dos exercícios. Entretanto, as evidências sobre o melhor IR para modelos de exercícios AAP ainda são escassas. Poucos estudos (9, 14) mostraram a influência de diferentes intervalos entre séries no volume, ativação muscular e índice de fadiga durante o exercício AAP.

Maia et al. (14) demonstraram que IR de 30 segundos a 1 minuto resultou em maior ativação muscular e maior volume de treinamento nos músculos agonistas, comparado a IR de 3 e 5 minutos. Em outro estudo de Maia et. al. (9), eles avaliaram o volume do treino, índice de fadiga dos músculos agonistas e escala de percepção de esforço. Os achados demonstraram que o volume do treino e o índice de fadiga não foram diferentes entre os IR de 2 e 4 minutos.

Entretanto, o índice de fadiga do grupamento muscular agonistas foi maior quando IR menores foram adotados (30 segundos a 1 minuto). Assim, tais achados sugerem que IR menores podem propiciar maior fadiga muscular, mas, não comprometem o volume de treino. Portanto, o IR ideal para modelos que adotam contrações de grupos musculares agonistas e antagonista, como no exercício AAP, necessita ser investigado.

Além disso, há uma lacuna sobre o IR a ser adotado entre as ações dos músculos agonistas e antagonistas, que é peculiar a modelos de ER com pré-ativação muscular, como no exercício AAP. Há indícios de que o exercício AAP proporciona treinamentos mais intensos (9, 24), associado a um menor tempo de sessão (25). Entretanto, um IR não adequado à maior intensidade do exercício AAP poderia influenciar a ocorrência de menor volume nas séries subsequentes.

Do mesmo modo, a influência de diferentes IR na força muscular agonista e antagonista ainda não foi investigada no contexto do exercício AAP aplicado no dinamômetro isocinético utilizando os músculos flexores e extensores do joelho. Nesse contexto, a ocorrência de fadiga muscular (9, 26) poderia comprometer a produção de força durante o exercício AAP, o que justifica a necessidade de novos estudos.

3. JUSTIFICATIVA

Variáveis agudas do ER (10) e características do indivíduo (30) (27), devem ser levados em consideração no momento da periodização de um treinamento. Nesse contexto, um grupo de pesquisadores (27) avaliaram a variável ordem de execução dos exercícios. Um grupo realizou o exercício de agachamento em primeiro, depois foi realizado mais sete exercícios. O outro grupo, realizou os sete exercícios, em seguida realizou o exercício de agachamento. Foi verificado que o exercício realizado primeiro obteve um maior número de repetições em relação ao último.

Com relação às características do indivíduo, tanto o nível de treino quanto a idade interferem no desempenho neuromuscular, como evidenciado no estudo o qual crianças foram menos suscetíveis à fadiga quando comparadas com adolescentes (30).

Com relação ao grupamento muscular, grupos musculares maiores necessitam ser trabalhados com maior intensidade, comparado a grupamentos musculares menores (10). Além disso, a arquitetura de um determinado músculo pode influenciar o desempenho neuromuscular. Por exemplo, os músculos flexores e extensores do joelho tem características diferenciadas. Os músculos extensores (vasto lateral e vasto medial oblíquo) têm uma predominância das fibras musculares tipo II, altamente energéticas, porém, rapidamente fadigáveis (28). Por outro lado, os músculos flexores do joelho predominam as fibras tipo I, as quais tem capacidade de contrações sustentadas ou repetidas, que requerem tensão relativamente baixa (29).

O exercício de pré-ativação antagonista tem sido realizado equiparando o número de séries e repetições dos exercícios agonistas e antagonistas (5). Nesse tocante, percebe-se que, mesmo equiparando o volume do treino dos exercícios agonista e antagonista, os estudos, na maioria das vezes, não avaliam as adaptações do grupamento muscular antagonista (apenas o agonista).

Diferenças metodológicas dos estudos (6, 8, 9, 14, 24), como: intervalos de recuperação, intensidade, volume do treino, grupos musculares exercitados, além da característica da população dificultam a interpretação dos resultados. Além disso, há uma carência de estudos que investigam as adaptações tanto dos músculos agonistas, quanto dos antagonistas, no exercício AAP utilizando o dinamômetro isocinético.

A variável intervalo de recuperação (30-32) tem influência direta no desempenho da força muscular. No que se refere a essa variável aplicada no exercício AAP, apenas dois estudos (9, 14) do mesmo grupo de pesquisa investigaram a sua influência nas variáveis neuromusculares. Um dos estudos (14) avaliou o comportamento nos membros inferiores. No entanto, esse estudo analisou somente as variáveis na musculatura agonista e o outro estudo (9), verificou o comportamento dos músculos agonistas e antagonistas dos membros superiores.

Assim, podemos afirmar que a literatura ainda é limitada quando se trata da variável IR aplicada no contexto do exercício AAP, mesmo apesar desse modelo ser muito usado na prática clínica e em academias (5, 33, 34). Nesse contexto, levanta-se uma questão sobre a predominância diferenciada das fibras musculares nos flexores (tipo I) e extensores (tipo II) do joelho (28, 29). Será que essa diferença das fibras poderia ocasionar adaptações distintas no desempenho neuromuscular dos dois grupamentos?

Com base no exposto, justifica-se o presente estudo, e nossos achados podem propiciar uma orientação mais adequada para a prescrição do exercício AAP, considerando-se a importância do controle do IR.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

Analisar os efeitos de três diferentes intervalos de recuperação no desempenho neuromuscular dos músculos extensores e flexores do joelho de indivíduos sadios jovens submetidos ao exercício resistido agonista-antagonista pareado em séries.

4.2. Objetivos Específicos

I. Examinar o impacto de três diferentes intervalos de recuperação no trabalho total e pico de torque e dos músculos flexores e extensores do joelho em indivíduos jovens sadios submetidos ao exercício resistido agonista-antagonista pareado em séries.

II. Analisar as respostas de três diferentes intervalos de recuperação na eficiência neuromuscular dos músculos flexores e extensores do joelho em indivíduos jovens sadios submetidos ao exercício resistido agonista-antagonistas pareado.

III. Verificar a influência de três diferentes intervalos de recuperação na ativação muscular dos músculos extensores e flexores do joelho de indivíduos jovens sadios submetidos ao exercício resistido agonista-antagonistas pareado.

IV. Comparar o efeito de três diferentes intervalos de recuperação no índice de fadiga dos músculos extensores e flexores do joelho de indivíduos jovens sadios submetidos ao exercício resistido agonista-antagonistas pareado.

5. HIPÓTESE DO ESTUDO

I. Não haverá diferenças significante ($p>0,05$) no trabalho total e pico de torque entre os três diferentes intervalos de recuperação adotados nos músculos flexores e extensores do joelho.

II. Não haverá diferenças significante ($p>0,05$) na eficiência neuromuscular entre os três diferentes intervalos de recuperação adotados nos músculos flexores e extensores do joelho.

III. Não haverá diferenças significante ($p>0,05$) na ativação muscular entre os três diferentes intervalos de recuperação adotados nos músculos flexores e extensores do joelho.

IV. Não haverá diferenças significante ($p>0,05$) no índice de fadiga entre os três diferentes intervalos de recuperação adotados nos músculos flexores e extensores do joelho.

6. REVISÃO DE LITERATURA

6.1. O exercício resistido com pré-ativação muscular

A pré-ativação muscular pode ser definida pela realização de um exercício monoarticular antes da realização de um exercício multiarticular, ou pela realização de dois ou mais exercícios realizados em sequência (35, 36). Um exemplo seria a execução de um exercício denominado cadeira extensora antes de realização do exercício conhecido como *leg press*.

Esse método, parte do pressuposto teórico que ao realizar um exercício que envolve diversas articulações, os pequenos grupos musculares entram em fadiga antes que os grandes músculos possam ser levados ao limite de sua capacidade de trabalho (35).

Diversos estudos (35-38) foram desenvolvidos com o intuito de investigar os efeitos da pré-ativação. Com relação aos efeitos agudos, pesquisadores têm analisado o impacto da pré-ativação muscular e no volume do treino (35-39). No entanto, os benefícios da pré-ativação ainda são controversos, pois um estudo demonstrou aumentos (40) e outros estudos demonstraram queda da força muscular agonista (35, 41).

Augustsson et al. (35) realizaram uma pesquisa utilizando a pré-ativação muscular, na qual os voluntários foram submetidos a realização do exercício de cadeira extensora e, imediatamente, seguido do exercício *leg press*, confrontado com a realização dos exercícios sem pré-ativação (somente exercício de *leg press*). Os achados demonstraram uma queda da ativação muscular do quadríceps quando utilizou a pré-ativação muscular, comparado à execução do mesmo exercício de forma isolada.

Do mesmo modo, Gentil et al. (41) submeteram treze sujeitos a séries de supino reto, em exercícios com e sem pré-ativação muscular (exercício em crucifixo). O volume do treino

correspondeu a dez repetições máximas, e foi estabelecida uma velocidade de execução dos exercícios de dois segundos de fase concêntrica e excêntrica. Os resultados corroboraram com o estudo (42) supracitado que não registrou aumento na ativação muscular dos músculos peitoral maior e deltoide quando utilizou a pré-ativação muscular.

No entanto, o estudo de Rocha et al. (40) apresentou achados que contrariam os estudos anteriormente citados (41, 42). Rocha et al. (40) examinaram a influência do método de pré-ativação na ativação muscular do quadríceps. O protocolo experimental consistia na execução do exercício *leg press* em três circunstâncias: precedido do exercício de cadeira extensora realizado com baixa intensidade (30% de uma repetição máxima); precedido do exercício da cadeira extensora com intensidade moderada (60% de uma repetição máxima), e a execução do exercício *leg press* de forma isolado (sem pré-ativação muscular). Nas três situações experimentais o *leg press* foi executado com carga equivalente a 60% de uma repetição máxima. Os resultados indicaram uma maior ativação muscular quando foi realizado a pré-ativação.

Segundo os pesquisadores, a carga elevada utilizada nos outros estudos (35, 41) pode ter produzido grande quantidade de metabólitos que desencadeou um *feedback* sensorial que diminuiu a capacidade contrátil dos músculos. Em contrapartida, quando as contrações musculares são submáximas, não há o recrutamento de todas as unidades motoras disponíveis e, à medida que a fadiga se instala, novas unidades motoras são recrutadas para compensar as fadigadas. Esse fato poderia tornar o método de pré-ativação uma indicação plausível para o treinamento, uma vez que a realização do exercício monoarticular de baixa intensidade forçaria o recrutamento de fibras musculares para a execução do exercício multiarticular subsequente.

A variável volume do treinamento pode ser expressado pelo número de repetições máximas realizada em um exercício ou grupamento muscular. Estudos (38, 41, 44) apontaram que a pré-ativação muscular não proporciona efeitos significativos quando comparado com o

ER sem pré-ativação muscular. No estudo (38), foi demonstrado que o número de repetições do exercício *leg press* foi menor quando foi utilizado a pré-ativação. Assim, os estudos não suportam a ideia de que a pré-ativação muscular é mais eficaz ao comparar com treinos sem pré-ativação muscular para o aumento do volume do treino.

Com relação a estudos crônicos, somente um estudo foi encontrado até a presente data (36). Os pesquisadores analisaram os efeitos de 12 semanas de ER com pré-ativação em trinta e nove indivíduos treinados. Os voluntários foram divididos em três grupos: A) realização dos exercícios com pré-ativação; B) realização dos exercícios com a ordem inversa; C) realização do exercício sem a pré-ativação muscular. Os resultados demonstraram que não houve efeitos significantes entre os grupos que realizaram a pré-ativação muscular em comparação com o grupo sem pré-ativação muscular para a força muscular e composição corporal.

A pré-ativação muscular foi criada empiricamente para manipular a ordem de execução dos exercícios. Na maioria das variáveis analisadas, o método não demonstrou superioridade quando comparada com o ER sem pré-ativação muscular. No entanto, estudos (1, 2, 4-9, 14-16, 24, 25, 45-47) aponta outros modelos que adotam a pré-ativação do grupamento muscular principal, dentre esses modelos, se destaca a pré-ativação muscular antagonista, que é definida pela realização de um exercício antagonista antes do agonista.

6.2. Evidências sobre o método agonista-antagonista pareado em séries

O método de treino agonista e antagonista pareado em séries é caracterizado pelo uso de exercícios dos grupamentos musculares agonistas e antagonistas, realizados alternadamente (46). Estudos prévios demonstraram que, ao comparar com um treino tradicional, o exercício AAP propiciou vantagens sobre o tempo de duração da sessão (5, 8), maior volume de treino

(8), aumento da força (6, 9, 14) e da potência muscular (16) e, ainda, propiciou níveis mais altos de fadiga muscular dos músculos agonistas (5, 6).

Altos níveis de fadiga podem ser adequados quando o objetivo é a hipertrofia muscular, uma vez que o elemento chave é o efeito acumulativo da exaustão nas séries e exercícios subsequentes, e não apenas a exaustão após cada série. Esse efeito acumulativo estimula as reações químicas e o metabolismo protéico responsável pela hipertrofia muscular. Portanto, o treino de hipertrofia deve utilizar, predominantemente, o sistema anaeróbio (adenosina trifosfato e creatina quinase -ATP/CP) (48).

Com relação à menor duração da sessão de treinamento, estudos (5, 8) reforçam a vantagem do exercício AAP em comparação com métodos tradicionais. Robbins et al. (8) investigaram os efeitos agudos da realização do exercício AAP versus o treino tradicional. O exercício AAP foi definida pela realização de três séries do conjunto de exercícios de puxada frontal e supino reto. O exercício sem pré-ativação foi caracterizado pelo desenvolvimento três séries de exercícios de puxada frontal, em seguida, três séries de exercício de supino reto. A potência de pico, fadiga, volume do treino e o tempo da sessão foram analisados. Os resultados demonstraram diferenças apenas no tempo da sessão, sugerindo que o exercício AAP conseguiu os mesmos resultados, mas utilizando metade do tempo, comparado ao um método tradicional.

Sobre o volume do treino, alguns estudos (7, 8, 25) asseguram uma superioridade ao comparar o exercício tradicional com o exercício AAP. Entretanto, ainda encontra-se resultados conflitantes (7, 8). A exemplo, dois estudos (7, 8) do mesmo grupo de pesquisa demonstraram resultados controversos envolvendo a musculatura dos membros superiores. Curiosamente, um estudo (7) verificou superioridade no volume do treino no grupo que utilizou o exercício AAP ao comparar com o treino Tradicional. No entanto, no outro estudo (8), o volume do treino não diferiu ao comparar com o exercício AAP com o exercício tradicional.

Nesse contexto, Carregaro et al. (25) compararam os efeitos agudos do exercício AAP com exercício tradicional no desempenho dos músculos extensores de joelho durante a realização de exercício isocinético concêntrico. No estudo, o grupo do exercício AAP realizou três séries do conjunto de exercícios de flexão e extensão do joelho nas velocidades 60°/s e 120°/s. No método tradicional, foi realizado três séries de extensão dos joelhos utilizando as mesmas velocidades. O IR adotado foi de um minuto para ambos os grupos. Os resultados demonstraram que o volume do treino nos músculos extensores do joelho foi maior no método tradicional ao comparar com o exercício AAP nas velocidades de 60°/s e 120°/s.

O desempenho das variáveis neuromusculares tem sido examinado demasiadamente por diversos autores utilizando o exercício AAP (1, 6-9, 14,15, 24, 25, 46, 47). Nesse tocante, estudos (4, 45) analisaram o comportamento da força muscular e os resultados ainda são conflitantes. Um estudo prévio (45) aponta diferenças na força muscular dos agonistas após uma série de cinco repetições máximas do exercício AAP. No estudo, a força gerada usando o exercício AAP foi aproximadamente 4% menor ao comparar com o método tradicional. Essa menor produção de força foi atribuída a um aumento da coativação dos músculos extensores, previamente fadigados.

Outro estudo (4) avaliou a influência de três sessões do exercício AAP e comparou com o exercício tradicional com a finalidade de verificar o desempenho muscular de homens saudáveis. O estudo foi desenvolvido no dinamômetro isocinético e foram realizadas quatro séries de dez repetições do exercício de flexão e extensão do joelho na velocidade de 60°/s. O IR adotado foi de um minuto entre o conjunto de flexão e extensão para o grupo de exercícios AAP, e um minuto entre a extensão do joelho para o grupo tradicional. Os resultados do estudo evidenciaram aumentos significativos da força muscular antagonista para o exercício AAP ao comparar com o treino tradicional.

Quanto à potência muscular, Baker e Newton (16) evidenciaram aumentos de 4,7% da produção da potência muscular para o exercício AAP ao comparar com treino tradicional. Os ganhos podem ser explicados por meio do aumento da taxa de disparo muscular dos agonistas causadas por uma estimulação neural influenciada pela ação prévia dos antagonistas. No entanto, Robbins et al. (7) não observaram mudanças significativas nas medidas de potência no membro superior ao longo de três séries de exercício AAP comparados com exercícios tradicionais.

O exercício AAP é indiscutivelmente mais fatigante quando comparado com exercícios sem pré-ativação muscular (5). Paz et al. (6), com a finalidade de investigar a fadiga muscular utilizando exercício AAP versus treino tradicional, empregaram uma amostra composta por quinze homens treinados. O protocolo tradicional consistiu em três conjuntos de exercícios de supino horizontal seguidos por três conjuntos de exercício de puxada sentada. O exercício AAP consistiu em três séries de exercícios de puxada sentada e três séries de supino horizontal realizadas de maneira alternada. O índice de fadiga muscular foi maior no exercício AAP em comparação ao treino tradicional.

Como visto, existe uma vasta literatura (1, 2, 5-9, 14-16, 24, 45, 46) sobre o exercício AAP, e os diferentes resultados encontrados provavelmente se devem às diferenças metodológicas entre os estudos desenvolvidos de acordo com a finalidade de cada pesquisador que, na maioria das vezes, está relacionada a melhoras do desempenho neuromuscular.

Inúmeras variáveis do ER que ainda não foram investigadas no contexto do exercício AAP (49). Por exemplo, um estudo (49) investigou os efeitos de diferentes cadências do exercício (90 e 40 rpm) sobre o volume e ativação muscular. Os resultados demonstraram que não houve diferenças no volume do treino, quando utilizou-se diferentes cadências. Entretanto, a ativação muscular do vasto lateral foi superior, quando utilizou-se cadências mais rápidas (90 rpm).

Maia et al. (14) com a finalidade de analisar a variável IR no exercício AAP, observou que, ao utilizar diferentes IR (Imediato, 30 segundos, 1, 2 e 5 minutos) em comparação com o tradicional, os resultados apresentaram um maior número de repetições quando realiza o exercício AAP utilizando os diferentes IR em comparação com método tradicional. Além disso, ao comparar os IR no exercício AAP, o grupo que utilizou o menor IR conseguiu obter um maior número de repetições em comparação com IR mais longos para os músculos agonistas. Do mesmo modo, a ativação muscular foi maior no músculo agonista no exercício AAP, utilizando-se intervalos menores ao comparar com o exercício tradicional. E ao comparar o IR no exercício AAP, a ativação muscular agonista foi maior quando utilizou o IR de 30 segundos em comparação com os intervalos longos (3 e 5 minutos).

No entanto, poucos estudos investigam a variável IR no exercício agonista-antagonista pareado em séries e, ainda, os efeitos do IR sobre os músculos antagonistas utilizando o dinamômetro isocinético são escassos (8, 9).

6.3. Variáveis agudas do exercício resistido

As variáveis agudas do ER são manipuladas de acordo com o delineamento de uma determinada periodização. As principais variáveis agudas manipuláveis do ER são intensidade e volume do treino, ordem de execução dos exercícios, frequência semanal e intervalo de recuperação (IR) entre as séries do exercício (10, 17, 50).

A intensidade do ER é estimada com um percentual de uma repetição máxima ou zonas de repetições máximas (10, 50). Desenvolver grandes quantidades de repetições com pouca carga resultará em nenhum ganho ou ganhos mínimos de força (50). Entretanto, o número

máximo de repetições por série de um exercício que resultará em ganho de força varia de acordo com o grupo muscular e além disso, características do indivíduo como: sexo, nível de treinamento e idade pode influenciar o número máximo de repetições (15, 50, 51).

O volume do treino é tipicamente expresso pela multiplicação das séries pelas repetições e pela resistência (kg) (52). Portanto, pode-se manusear o volume do treino alterando o número de exercícios executado por sessão, o número de séries realizadas por exercício, o número de repetições realizadas por série ou resistência utilizada. Alterações no volume do treino podem influenciar nas respostas neurais, hormonais e metabólicas, considerando que maiores volumes proporcionam maiores respostas na força muscular (34, 53, 54).

A ordem de execução dos exercícios é determinada pela sequência em que serão realizadas os exercícios. A sequência específica de exercícios em cada sessão afeta o rendimento da produção de força e fadiga muscular durante uma sessão do ER (27, 55). Por exemplo, ao comparar o exercício de agachamento realizado como primeiro ou o último exercício de uma sessão de treino, observa-se uma redução do número de repetições realizadas quando esse exercício é o último a ser executado (27).

A frequência semanal, refere-se ao número de vezes que um músculo ou grupamento muscular são estimulados na semana (56). A frequência semanal de treino depende de outras variáveis do ER, como: volume do treino, intensidade, seleção dos exercícios. Além do nível de treinamento, estado nutricional e capacidade de recuperação muscular do indivíduo (56, 57). Salienta-se que, nem sempre, a maior frequência semanal significa que terá melhores resultados, por exemplo, um estudo analisou os efeitos da frequência semanal sobre os ganhos de força em homem destreinado no ER durante oito meses. Os resultados reportados indicam que uma baixa frequência semanal (duas vezes por semana) é tão efetiva quanto uma frequência semanal maior (3 ou 4 sessões semanais) para o aumento da força muscular (57).

A variável intervalo de recuperação é definida como o tempo dedicado à recuperação entre séries e exercícios (58). O IR pode afetar as respostas metabólicas (18), níveis hormonais (19) volume do treino (59), bem como a realização das séries subsequentes (60). Períodos de IR devem ser suficientes para permitir a reposição de trifosfato de adenosina e fosfocreatina e remoção do ácido láctico acumulado (18). A utilização de IR insuficiente pode aumentar a dependência da produção de energia glicolítica e afetar o acúmulo de metabólico (61). Tais eventos podem comprometer a capacidade de sustentar o volume do treino e os ganhos ótimos da força muscular (62).

Ratamess et al. (10) propõem o uso de IR de 2 a 3 minutos para exercícios de múltiplas articulações, 1 a 2 minutos de IR para exercícios uni-articulares durante a realização de ER com a finalidade de aumentar a força e a potência muscular, e no máximo 1 minuto de IR quando deseja aumentar a resistência muscular.

No entanto, a duração do IR é uma variável subjetiva ao ganho de força muscular, e ainda é negligenciada pelos diversos praticantes do ER (63). Schoenfeld (64) classifica o IR como curto (até 60s), moderado (60 a 120s) e longo (2 a 5 min). Nesse contexto, estudos (51, 63, 65-71) têm sido desenvolvidos com a finalidade de analisar a importância do IR em indivíduos com características diferenciadas, como: idade, nível de treinamento e força muscular.

Ao analisar a influência da idade sobre o IR, indivíduos mais novos necessitam de menores intervalos ao confrontar com os resultados de indivíduos mais velhos (65, 67). Bottaro et al. (65) demonstraram que crianças são menos suscetíveis ao IR ao comparar com adolescente. No estudo, crianças foram submetidas ao ER utilizando IR de 1 e 2 minutos, e não foram constatadas quedas na produção da força em ambos os IR. No entanto, a força muscular dos adolescentes foi afetada ao utilizar IR de 1 minuto em comparação com a utilização do IR de 2 minutos.

Do mesmo modo, outro estudo (67) comparou crianças, adolescentes e adultos utilizando-se diferentes IR (1, 2 e 3 minutos). As comparações entre grupos etários revelaram que meninos e adolescentes realizaram números maiores de repetições quando foi utilizado diferentes IR ao comparar com adultos. Tais resultados, indicaram que o IR comprometeu mais o volume do treino dos adultos, ao comparar com crianças e adolescentes.

Theou et al. (51) com a finalidade de examinar a importância da idade e do nível de treinamento sobre o IR, utilizaram um protocolo composto por exercícios de extensão e flexão do joelho em mulheres jovens destreinadas e mulher idosas fisicamente ativa. No estudo, foi realizado três séries de oito repetições máximas de extensão e flexão de joelho utilizando IR de 15, 30 e 60 segundos. Os estudiosos constataram um declínio da força nos músculos extensores do joelho nos dois grupos quando o IR de 15 e 30 segundos foram utilizados. Entretanto, quando foi utilizado IR de 60 segundos, não foi comprovado declínio da força para as jovens mulheres e para as idosas fisicamente ativas. Ao avaliar a força dos flexores do joelho, nenhum declínio foi observado nas idosas fisicamente ativas quando o IR de 30 segundos foi utilizado. No entanto, houve declínio da força muscular nas mulheres destreinadas. Portanto, mulheres mais jovens destreinadas e idosas fisicamente ativas requerem IR semelhantes nos exercícios de extensão do joelho. No entanto, idosas fisicamente ativa recuperaram mais rápido ao comparar com as mulheres jovens destreinadas, quando realizaram exercícios de flexão do joelho.

Ainda, sobre a utilização do IR de acordo com o nível do treinamento, Celes et al. (70) avaliaram os efeitos de 1 e 2 minutos de IR entre três séries de extensão do joelho para a variável força e trabalho total de jovens destreinados. Os resultados demonstraram que tanto o IR de 1 quanto o de 2 minutos não foram suficientes para manter a força e trabalho total ao longo das séries. Assim, os autores sugerem a utilização de IR longo para jovens iniciantes ao ER.

Um outro estudo (68) foi desenvolvido utilizando uma amostra composta por indivíduos experientes no ER. A pesquisa comparou o efeito de três diferentes IR na sustentabilidade das

repetições de exercícios dos membros inferiores (agachamento) e superiores (supino). Foram utilizadas cinco séries de quinze repetições máximas, utilizando-se IR de 30 segundos, 1 e 2 minutos. Os IR analisados não foram suficientes para a manutenção do volume do treino ao longo das séries. Assim, os autores do estudo sugerem IR longos para a manutenção do volume do treino. Corroborando com o estudo prévio, outros dois estudos (18, 72) verificaram superioridade ao utilizar IR de 5 minutos com relação ao IR de 1 minuto na manutenção de um volume do treinamento.

Diante do exposto, a literatura (10, 61, 73) ainda esclarece que a duração do período de IR deve variar de acordo com o objetivo individual e com base na complexidade de determinado exercício e/ou método de treinamento. Nesse sentido, o exercício AAP (5, 6, 13) tem demonstrado ser uma estratégia interessante para aumentar a força (13) e volume do treino, utilizando menor tempo por sessão (5), comparado o exercício tradicional. Nesse tocante, a literatura ainda é escassa sobre a influência de diferentes IR no exercício AAP, com a finalidade de aprimorar o desempenho neuromuscular da musculatura dos membros inferiores do corpo (9, 14).

7. MÉTODO

7.1. Desenho do estudo

Trata-se de um estudo com desenho de medidas repetidas (74). O desenho esquemático está apresentado na Figura 1.

Os participantes foram submetidos a um protocolo de exercício AAP, no qual foram submetidos a três diferentes intervalos de recuperação (imediate, 60 segundos e 120 segundos) entre as ações musculares agonistas e antagonistas do joelho.

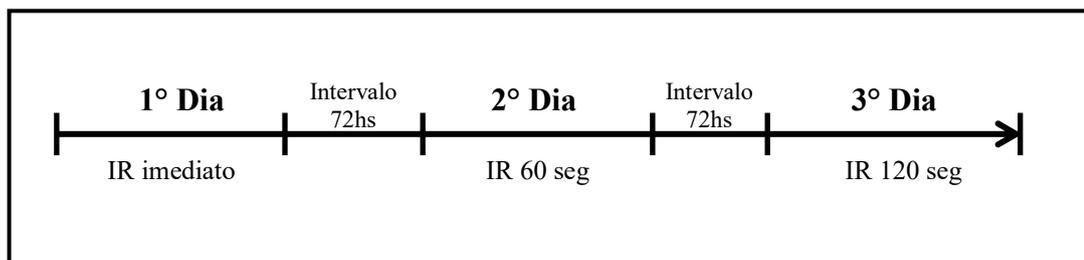


Figura 1. Ilustração que representa o desenho do estudo. A ordem dos intervalos de recuperação foi aleatorizada, para cada sujeito (IR: intervalo de recuperação).

7.2. Local

O projeto foi realizado no Laboratório de Treinamento de Força, localizado na Faculdade de Educação Física da Universidade de Brasília (FEF/UnB).

7.3. Participantes

Foi realizado um cálculo amostral (GPower 3.1.9.2) adotando-se modelo ANOVA com medidas repetidas, poder estatístico de 90% e um α de 5%, para verificar uma diferença com tamanho de efeito de 0.3 na comparação do pico de torque entre os intervalos de recuperação. O cálculo indicou uma amostra necessária de 35 sujeitos. Considerando-se uma perda amostral de aproximadamente 20%, o presente estudo considerou um tamanho amostral necessário de 42 participantes.

Participaram do presente estudo 50 jovens sadios do sexo masculino, com média (desvio padrão) de 23,2 (2,8) anos de idade, 1,76 (0,10) metros de estatura, 78,0 (8,1) kg, e 25,1 (3,0) kg/m² de índice de massa corporal. Todos os participantes foram recrutados no campus universitário por meio de contatos verbais, divulgação em redes sociais, e cartazes alocados em pontos estratégicos no campus universitário.

Os voluntários foram submetidos a um questionário contendo informações sobre dados pessoais (prática de exercícios físicos, dominância de perna, doenças prévias, presenças de traumas e cirurgias recentes que pudessem comprometer a realização de exercício).

Para serem incluídos no estudo, os sujeitos deveriam preencher os seguintes critérios de inclusão: (1) Idade compreendida entre 18 e 30 anos; (2) Não terem participado de nenhum tipo de exercício resistido nos últimos 6 meses precedentes ao estudo. Os critérios de exclusão foram: (1) Qualquer tipo de comprometimento cardiorrespiratório diagnosticado; (2) Qualquer tipo de doença metabólica diagnosticada; (3) Lesão osteomioarticular da coluna vertebral diagnosticada; (4) Lesão ligamentar do tornozelo e/ou joelho diagnosticados; (5) Doença ou sinal de déficit neurológico e/ou proprioceptivo.

Todos os voluntários que atenderam os critérios foram convidados a participar da pesquisa, e a assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), aprovado pelo

Comitê de Ética Institucional (FS/UnB; CAAE n. 31868514.5.0000.0030).

7.4. Dinamometria Isocinética

Foi utilizado um dinamômetro isocinético da marca Biodex System 3 (Figura 2) (*Biodex Medical Systems, Shirley, New York, USA*) para avaliar as medidas das variáveis neuromusculares trabalho total, e pico de torque durante a realização dos exercícios concêntrico da extensão e flexão do joelho. O *software Biodex Advantage* versão 3 foi utilizado para registro e estocagem dos dados. A calibração do dinamômetro foi realizada de acordo com as especificações do manual do fabricante.

Os participantes foram posicionados na cadeira do dinamômetro isocinético, com a possibilidade de um movimento livre e confortável de flexão e extensão do joelho. Nesse processo, a extensão do joelho foi definida com 10° e a flexão do joelho a 90°, utilizando-se uma amplitude total de movimento de flexo-extensão de 80°. O epicôndilo lateral do fêmur foi usado como ponto de referência do eixo de rotação do joelho ao ser alinhado com o eixo de rotação do aparelho. A posição do quadril foi padronizada a 100° de flexão (posicionamento da cadeira), para todos os participantes.



Figura 2. Ilustração do dinamômetro isocinético utilizado na pesquisa.

7.5. Eletromiografia de superfície

Foi utilizado um eletromiógrafo de superfície portátil com 8 canais (Miotool Miotec Equipamento Biomédicos Ltda, Brasil), com resolução de 14 bits, nível de ruído $< 2\text{LSB}$ e modo de rejeição comum de 110 db. Os eletrodos ativos simples diferencial (impedância de entrada de 10^{10} Ohm) possuem espuma de polietileno com adesivo medicinal hipoalérgico, gel sólido aderente e contato bipolar de Ag/AgCl (prata/cloreto de prata), com distância de 20 mm entre os polos de captação. O registro e processamento dos sinais eletromiográficos seguiram recomendações internacionais (75).

Foram avaliados os músculos: vasto media e bíceps femoral da perna direita. Para a colocação dos eletrodos a área foi tricomezada, seguida por uma leve abrasão com álcool 70%.

Os eletrodos foram posicionados sobre o ventre muscular e em paralelo as fibras musculares do vasto medial e bíceps femoral de acordo com as diretrizes do projeto SENIAM – *Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles* (Figura 3).

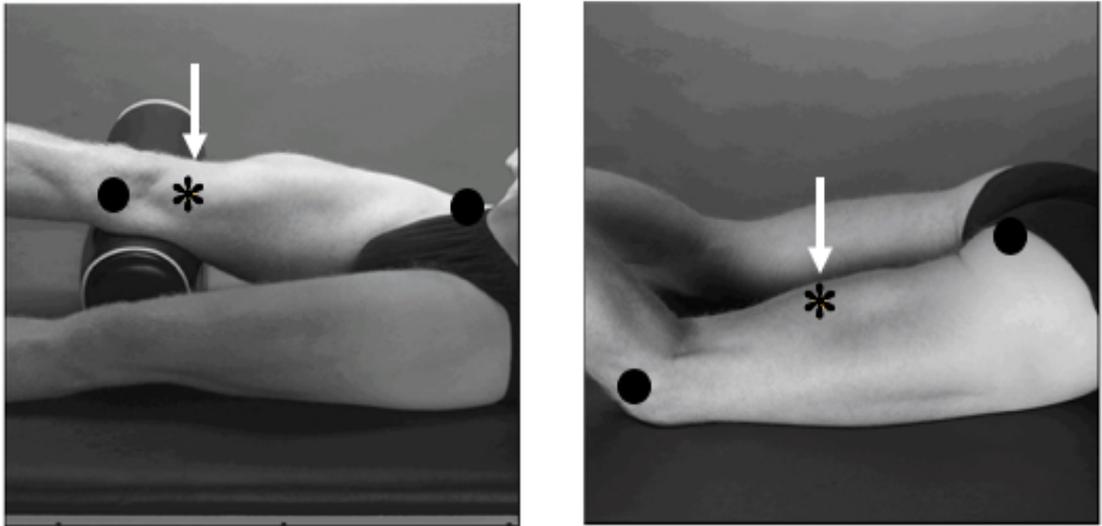


Figura 3. Ilustração do posicionamento dos eletrodos da eletromiografia (indicado pelo *) com base nas recomendações do SENIAM. À esquerda: músculo vasto medial e, à direita: músculo bíceps femoral.

O eletrodo de referência foi acoplado na proeminência óssea da sétima vértebra cervical (15, 76). Para que fosse captado o sinal eletromiográfico do músculo bíceps femoral utilizou-se um assento (Figura 4) sobre a cadeira do isocinético, para que os eletrodos não ficassem em contato com o banco de dinamômetro.



Figura 4. Assento utilizado para captação de sinal eletromiográfico do músculo Bíceps Femoral.

Os eletrodos foram conectados a um pré-amplificador de alta impedância através de um cabo extensor, e os sinais foram ajustados a uma amostragem de 2.000 Hz e um ganho final de 200 vezes nos canais habilitados.

Todos os voluntários realizaram uma contração isométrica voluntária máxima (CIVM) com a articulação do joelho posicionada a 60°, tendo com referencial 0° a extensão completa do joelho, para o procedimento de normalização dos dados eletromiográficos (77). A CIVM foi composta por duas contrações em extensão e flexão do joelho com duração de 7 segundos cada. Entre cada contração, adotou-se intervalo de dois minutos. A amplitude do sinal eletromiográfico foi calculada por meio do RMS (*root mean square*), durante cada repetição do exercício.

7.6. Procedimentos

Os participantes compareceram ao Laboratório de Treinamento de Força da Universidade de Brasília em três momentos distintos, com intervalo de 48h a 72h entre cada, no qual realizaram um protocolo composto por 4 séries de 10 repetições de exercício AAP (cada série composta por 10 flexões do joelho seguidas pelas 10 repetições de extensão do joelho), em uma velocidade de 60°/s nas ações musculares concêntrica e 300°/s nas ações musculares excêntrica. Foi recomendado aos voluntários que realizassem o exercício durante as ações musculares excêntrica sem produzir força muscular.

Os IR foram aplicados entre os movimentos de flexão e extensão do joelho, de modo aleatório, para cada sujeito, sendo: imediato, (exercício de flexão seguido imediatamente de extensão), 60 segundos (exercícios de flexão, IR de 60 segundos e, em seguida, exercícios de extensão) e 120 segundos (exercícios de flexão, IR de 120 segundos e, em seguida, exercícios de extensão). Como padronização, entre cada série de exercício AAP (exercícios de flexão e extensão) foi adotado um intervalo de 60 segundos (Figura 5).

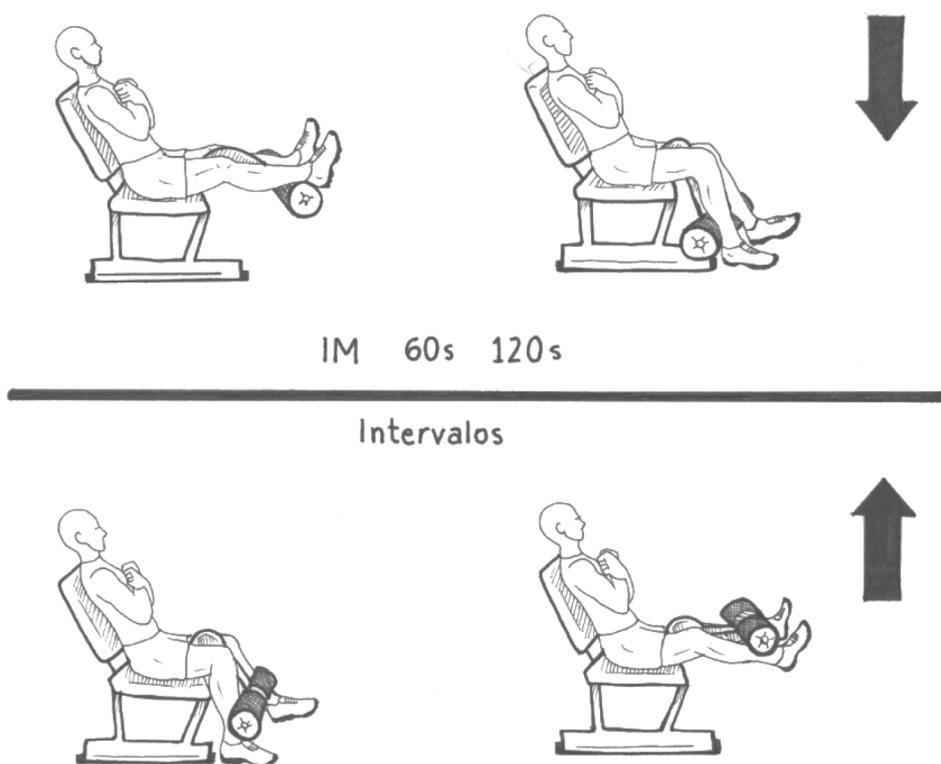


Figura 5. Ilustração que representa o exercício AAP. Inicialmente, realiza-se as repetições de flexão do joelho (parte superior) e, em seguida, as repetições de extensão do joelho (parte inferior), o que compõe uma série de exercício. A ordem dos IR entre as ações de flexão e extensão foi aleatorizada, para cada sujeito (IR: intervalo de recuperação; IM: imediato; 60s: 60 segundos; 120s: 120 segundos).

7.7. Processamento dos sinais

A eficiência neuromuscular foi calculada de acordo com a seguinte equação. Em que PT é o pico de torque em N.m e RMS é a raiz média quadrada em μV (Equação 1).

$$\text{Eq (1): } NME = \frac{PT}{RMS}$$

Onde,

PT: Pico de torque (em N.m/Kg)

RMS: Pico da ativação muscular (Root mean square, em μV).

A fadiga muscular do vasto medial e bíceps femoral foram analisadas com base no índice de fadiga proposto por Dimitrov et al. (26). A análise foi realizada por meio de uma rotina no programa *Matlab* (*version 8.5 releases 2015a MathWorks Inc, USA*).

A densidade do espectro foi calculada pela Transformada de Fourier convencional. Os momentos espectrais foram, então, usados para extrair as características da densidade espectral do sinal eletromiográfico (equação 2) (26). O índice de fadiga foi calculado pela razão entre os momentos espectrais de ordem 1 e ordem 5, para cada repetição de exercício. As mudanças no índice de fadiga (aumentos representam mais fadiga) foram baseadas em uma comparação entre a primeira (referida como 100%) e as repetições subsequentes, conforme a equação 3 (21).

Equação 2:

$$M_k = \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} f^k \cdot PS(f) \cdot df$$

Onde,

M_k : Momento espectral de ordem k ;

$PS(f)$: Espectro de frequência do sinal eletromiográfico, como função da frequência f ,

f_{\min} e f_{\max} : Delineamento da faixa do sinal (neste caso, a faixa utilizada foi de 20 a 450hz)

Equação 3

$$\frac{FI_{nsm5}^n}{FI_{nsm5}^1} \times 100 \quad (n = 1, 2, \dots, 10)$$

7.8. Análise estatística

Para a análise dos dados, utilizou-se o Programa SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*) versão 25.0. Inicialmente, os pressupostos de normalidade foram confirmados por meio do teste de Shapiro-Wilk para as variáveis trabalho total (em Joules), pico de torque (N.m/kg), eficiências neuromuscular (N.m/kg) dos músculos extensores do joelho e trabalho total (em Joules), pico de torque (N.m/kg), eficiências neuromuscular (N.m/kg), ativação muscular e fadiga muscular dos músculos flexores do joelho.

Aplicou-se uma análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas, com teste *post hoc* de Bonferroni, para verificar as diferenças entre os IR para as variáveis trabalho total, pico de torque e eficiência neuromuscular dos músculos extensores do joelho, e trabalho total, pico de torque, eficiência neuromuscular, ativação muscular e fadiga muscular dos músculos flexores do joelho. Uma análise within-IR foi feita para verificar as diferenças entre as séries de exercício em cada IR analisado. A significância adotada foi de 5% ($p < 0,05$), com intervalo de confiança de 95% (IC 95%). O tamanho do efeito foi calculado a fim de determinar a magnitude das diferenças, com base no d de Cohen e classificado de acordo com Rhea (78) como: insignificante ($< 0,35$); pequeno ($> 0,36$ e $< 0,80$); moderado ($> 0,81$ e $< 1,50$) e grande ($> 1,50$). O d foi calculado pela diferença entre as médias, dividindo-as pelo desvio padrão combinado.

Para as variáveis ativação e fadiga muscular dos músculos extensores do joelho o pressuposto de normalidade não foi atendido. Assim, utilizou-se o teste de Friedman com *post hoc* com comparações múltiplas pelo teste de Mann Whitney para comparar os diferentes IR. Nas comparações múltiplas, a significância de 5% foi corrigida para o total de comparações (12 comparações - 3 IR x 4 séries), sendo adotada uma significância corrigida de 0.4% ($p < 0.004$). O intervalo de confiança de 95% (IC 95%) foi calculado utilizando-se os valores da média por ranque, desvio padrão e tamanho da amostra. O Tamanho do efeito foi calculado pelo r de Glass usando a equação (79):

$$r = \frac{2(R1-R2)}{n1+n2}$$

Onde,

R1= classificação média do grupo 1

R2= classificação média do grupo 2

n1= tamanho da amostra grupo 1

n2 = tamanho da amostra grupo 1

r = coeficiente de correlação (variando de -1.00 a 1.00)

Para verificar as diferenças entre as séries, dentro de cada IR, foi utilizado o *post hoc* com comparações múltiplas de Wilcoxon. A significância de 5% foi corrigida para o total de comparações múltiplas (6 comparações), e adotou-se uma significância de 0.8% ($P < 0.008$). O tamanho do efeito dos dados não paramétricos foram baseados nos valores do Z - score e convertido para estimar o tamanho do efeito (r) usando a equação abaixo (79):

$$r = \frac{Z}{\sqrt{n}}$$

Onde,

Z = Z - score

N = número de observações

8. RESULTADOS

8.1. Grupamento muscular agonista (extensores)

8.1.1. Comparações entre os intervalos de recuperação dos músculos extensores

Os dados referentes ao trabalho total, pico de torque, e eficiência neuromuscular estão apresentados na Tabela 1. Não verificamos diferenças significantes entre os IR para o trabalho total, pico de torque e eficiência neuromuscular ($p>0,05$).

Os dados de ativação muscular (RMS normalizado) estão apresentados na Tabela 2. Verificamos um menor valor da ativação muscular no intervalo de 60s comparado com o intervalo de 120s. Essa diferença ocorreu nas séries 2, 3 e 4 ($p<0,004$). Não foram encontradas diferenças significantes entre os intervalos IM versus 60s e IM versus 120s, em nenhuma das séries ($p>0,05$).

Os dados do índice de fadiga estão apresentados na Figura 5. A fadiga muscular foi significativamente menor no intervalo IM versus ao intervalo de 60s, as diferenças foram assinaladas nas séries 3 e 4 ($p<0,004$). Do mesmo modo, houve maior índice de fadiga no intervalo de 60s quando comparado com o intervalo de 120s. A diferença ocorreu somente na série 4 ($p<0,004$).

Tabela 1. Resultados referentes ao trabalho total (TT, em Joule), pico de torque (PT, em N.m/kg) e eficiência neuromuscular (ENM) dos músculos extensores (agonistas) do joelho nos intervalos de recuperação (IR) imediato (IM), 60 segundos e 120 segundos. Dados apresentados em média (desvio padrão).

S	IR			IM vs 60s		IM vs 120s		60s vs 120s	
	IM	60s	120s	DM [IC95%]	ES	DM [IC95%]	ES	DM [IC95%]	ES
TT (J)									
1	1804,8 (401,9)	1800,4 (415,7)	1817,8 (417,6)	4,4 [-157,8; 166,6]	-0,92	-13,0 [-175,6; 149,6]	-0,12	-17,4 [-182,7; 147,9]	-0,97
2	1670,1 (456,9)	1786,2 (370,4)	1812,9 (394,0)	-116,1[-281,1; 48,9]	-0,14	-142,8[-312,2; 26,52]	-0,12	-26,7[-178,4; 125,0]	-0,58
3	1603,3 (366,1)	1739,2 (356,9)	1743,7 (412,1)	-135,9[-279,3; 7,5]	-0,18	-140,4[-295,1; 14,30]	-0,92	-4,5 [-157,5; 148,5]	-3,48
4	1528,9 (317,7)	1656,1 (379,2)	1745,4 (413,1)	-127,2[-266,0; 11,6]	-0,18	-216,5[-362,7; -70,24]	-0,92	-89,3 [-246,6; 68,7]	-0,18
PT (N.m/Kg)									
1	204,7 (45,4)	200,8 (48,2)	203,7 (45,8)	3,9 [-14,7; 22,50]	0,48	1,0 [-17,1; 19,1]	-1,86	-2,9 [-21,5; 15,7]	-0,66
2	192,5 (49,0)	202,6 (37,6)	205,5 (49,7)	- 1,1[-27,4; 7,23]	0,17	-13,0 [-32,5; 6,5]	-0,15	-2,9 [-20,3; 14,5]	-0,61
3	184,4 (46,7)	197,0 (45,0)	200,1(53,1)	-12,6 [-30,8; 5,60]	-0,14	-15,7 [-35,5; 4,1]	-0,12	-3,1 [-22,6; 16,4]	-0,64
4	170,2 (54,7)	186,8 (46,7)	198,2 (47,5)	-16,6 [-34,9; 1,74]	0,12	-28,0[-48,3; -7,6]	-0,07	-11,4 [-30,0; 7,29]	-0,16
ENM									
1	1,57 (0,50)	1,33 (0,66)	1,13 (0,46)	0,24 [0,01; 0,47]	0,09	0,44 [0,25; 0,63]	0,04	0,2 [-0,03; 0,43]	-0,45
2	1,14 (0,75)	1,18 (0,52)	1,15 (0,41)	-0,04 [-0,30; 0,22]	-0,51	-0,01 [-0,25; 0,23]	-2,36	0,03 [-0,17; 0,22]	-0,63
3	1,09 (0,63)	1,18 (0,51)	1,13 (0,56)	-0,09 [-0,30; 0,12]	-0,25	-0,09 [0,28; 0,20]	0,60	0,05 [-0,16; 0,26]	-0,43
4	0,95 (0,51)	1,29 (0,66)	1,14 (0,51)	0,34 [-0,57; -0,11]	-0,07	0,15 [-0,39; 0,01]	-0,10	0,15 [-0,08; 0,38]	-0,15

S: Série; ES: effect size; DM: Diferença média; IC95%: intervalo de confiança de 95%.

Tabela 2. Valores da ativação (RMS em %CIVM), dos músculos extensores (agonista) do joelho nos intervalos de recuperação (IR) imediato (IM), 60 segundos e 120 segundos. Dados apresentados em mediana (intervalo interquartil).

S	IM	IR		IM vs 60s	IM vs 120s	60s vs 120s
		60s	120s	(ES) Valor U	(ES) Valor U	(ES) Valor U
Ativação Muscular (RMS %CIVM)						
1	195,5 (75,5)	170,2 (83,1)	191,9 (58,2)	(-0,20) 954,0	(-0,04) 1188,0	(-0,23) 912,0
2	196,7 (80,9)	156,5 (77,8)	188,8 (61,2)	(-0,21) 937,5	(-0,05) 1176,0	(-0,36) 726,0*
3	197,0 (84,0)	157,5 (73,0)	198,4 (68,7)	(-0,22) 930,0	(-0,10) 1227,0	(-0,33) 770,0*
4	196,4 (75,0)	168,0 (101,1)	192,2 (65,6)	(-0,21) 938,5	(-0,03) 1205,0	(-0,24) 897,0*

Valor U: Valor U de Mann-Whitney; ES: effect size; * $P < 0,004$ diferença significante entre os IR.

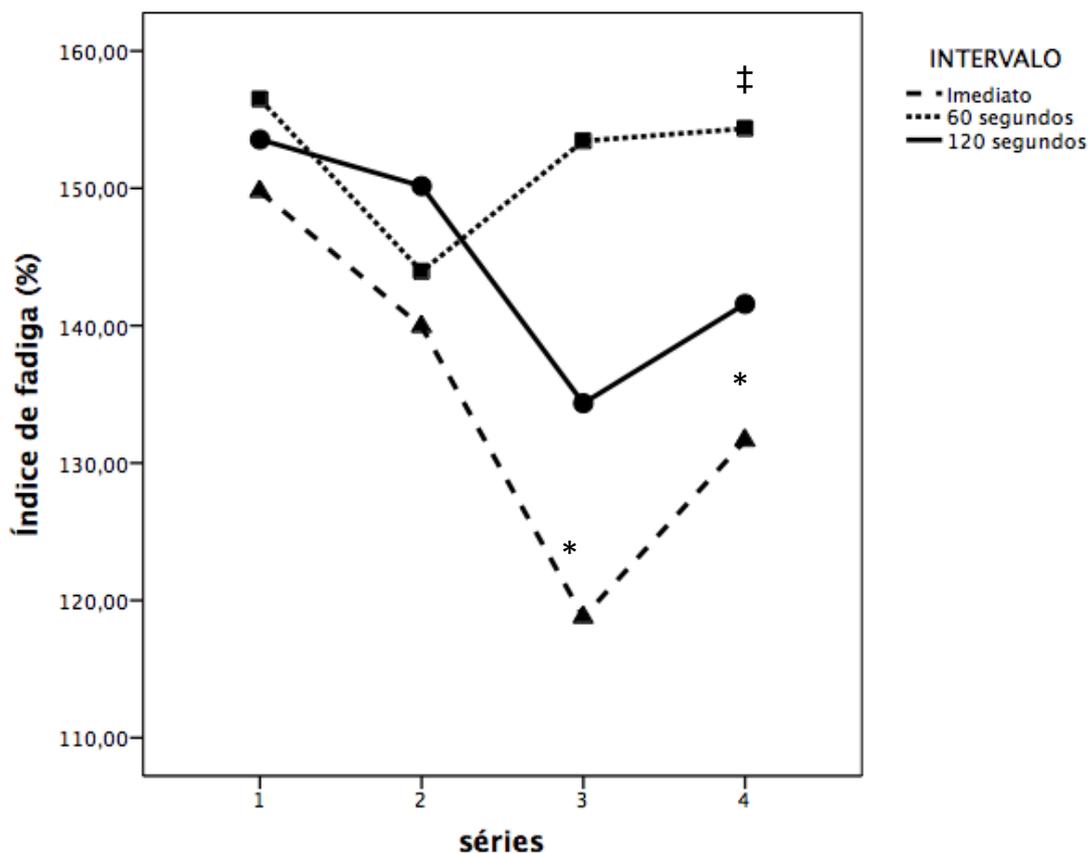


Figura 6. Índice de fadiga do músculo vasto medial (agonista) do joelho (valores em porcentagem), gerado durante a realização do exercício AAP utilizando os intervalos de recuperação imediato (IM), 60 segundos e 120 segundos, * $p < 0,004$ diferença significativa entre IM vs 60 segundos; ‡ $p < 0,004$ diferença significativa entre 60 segundos vs 120 segundos.

8.1.2. Comparações dentro dos intervalos de recuperação dos músculos extensores

Os dados referentes ao trabalho total, pico de torque, e eficiência neuromuscular, dos músculos extensores de joelho para cada série, estão apresentados na Tabela 3.

O trabalho total apresentou diferenças significantes entre as séries, nos intervalos IM e 60s. No intervalo IM houve uma diminuição progressiva do trabalho total ao longo das séries

($p < 0,05$), com tamanho do efeito variando entre trivial a moderado. No intervalo de 60s verificamos uma diminuição progressiva do trabalho total entre as séries ($p < 0,05$), com tamanho do efeito trivial em todas as comparações. No intervalo de 120s, não foram encontradas diferenças significantes entre as séries ($p > 0,05$) para trabalho total, pico de torque e eficiência neuromuscular.

O pico de torque apresentou diferenças significantes entre as séries no intervalo IM e 60s ($p < 0,05$). No intervalo IM, houve uma diminuição progressiva entre a série 1 até a série 3, com tamanho do efeito pequeno. No intervalo de 60s, verificamos uma diminuição progressiva ao longo das séries, as diferenças foram significantes apenas nas séries 2 e 4 ($p < 0,05$), com tamanho do efeito pequeno. No intervalo de 120s, não foram encontradas diferenças significantes entre as séries ($p > 0,05$).

A eficiência neuromuscular apresentou diferenças significantes no intervalo IM e 60s ($p < 0,05$) no qual houve uma queda progressiva ao longo das séries com tamanho do efeito pequeno.

Os dados referentes à ativação muscular e fadiga muscular entre as séries estão apresentados na Tabela 4. Não verificamos diferenças significantes na ativação e fadiga muscular ao longo das séries nos IR investigados ($p > 0,05$).

Tabela 3. Resultados referentes ao trabalho total (Joule), pico de torque (newton-metro/kg) e eficiência neuromuscular (N.m/microvolts), dos extensores do (agonista) joelho na comparação entre as séries de exercício, considerando-se os intervalos de recuperação investigados (IM, 60s e 120s). Dados apresentados em média (desvio padrão).

IM											
TT (J)				PT (N.m/Kg)				ENM			
S		DM (95%IC)		S		DM (95%IC)		S		DM (95%IC)	
		1x2	134,7 (19,4; 250,0)*			1x2	12,2 (182; 22,6)*			1x2	0,43 (0,07; 0,78)*
1	1804,8 (401,9)	1x3	201,5 (94,0; 302,7)*	1	204,7 (45,4)	1x3	20,3 (9,08; 31,4)*	1	1,7 (0,50)	1x3	0,48 (0,19; 0,77)*
2	1670,1 (456,9)	1x4	275,9 (159,9; 392,7)*	2	192,5 (49,0)	1x4	17,9 (18,65; 50,3)*	2	1,14 (0,75)	1x4	0,62 (0,36; 0,98]*
3	1603,3 (366,1)	2x3	66,8 (-22,5; 150,0)	3	184,4 (46,7)	2x3	8,1 (-1,55; 17,67)	3	1,09 (0,63)	2x3	0,05 (-0,25; 0,35)
4	1528,9 (317,7)	2x4	141,2 (-33,9; 248,3)	4	186,8 (46,7)	2x4	5,7 (-31,46; -9,0)*	4	0,95 (0,51)	2x4	0,19 (-0,06; 0,45)
		3x4	74,4 (-5,22; 160,0)			3x4	-2,4 (3,50; 24,9)*			3x4	0,14 (-0,34; 0,06)
60 s											
1	1800,4 (415,7)	1x2	14,2 (-67,33; 88,2)	1	200,8 (48,2)	1x2	-1,8 (-11,58; 8,0)	1	1,33 (0,66)	1x2	0,15 (0,07; 0,78)*
2	1786,2 (370,4)	1x3	61,2 (-37,9; 128,8)	2	202,6 (37,6)	1x3	3,8 (-5,07; 11,8)	2	1,18 (0,52)	1x3	0,15 (0,19; 0,77)*
3	1739,2 (356,9)	1x4	144,3 (27,6; 229,9)*	3	197,0 (45,0)	1x4	3,8 (-1,67; 27,9)	3	1,18 (0,51)	1x4	0,04 (0,36; 0,98)*
4	1656,1 (317,7)	2x3	47,0 (-31,6; 102,5)	4	186,8 (46,7)	2x3	5,6 (-2,76; 13,0)	4	1,29 (0,66)	2x3	0,00 (-0,25; 0,35)
		2x4	130,1(22,9; 213,7)*			2x4	15,8 (2,22; 27,5)*			2x4	- 0,11(-0,06; 0,45)
		3x4	83,1 (19,52; 146,3)*			3x4	10,2 (-2,13; 21,6)			3x4	-0,11(-0,34; 0,06)
120 s											
1	1817,8 (417,6)	1x2	4,9 (58,7; 68,5)	1	203,7 (45,8)	1x2	-1.8 (182; 22.6)*	1	1,13 (0,46)	1x2	0,15 (-0,11; 0,07)
2	1812,9 (394,0)	1x3	74,1 (-32,0; 180,3)	2	205,5 (49,7)	1x3	3.6 (9.08; 31.4)*	2	1,15 (0,41)	1x3	1,15 (-0,17; 0,17)
3	1743,7 (412,1)	1x4	72,4 (-32,3; 177,1)	3	200,1 (53,1)	1x4	5.5 (18.65; 50.3)*	3	1,13 (0,56)	1x4	0,66 (-0,24; 0,21)
4	1745,4 (413,1)	2x3	69,2 (-19,4; 157,9)	4	198,2 (47,5)	2x3	5.4 (-1.55; 17.67)	4	1,14 (0,51)	2x3	2,10 (-0,12; -0,16)
		2x4	67,5 (-10,3; 145,3)			2x4	7.3 (-31.46; -9.0)*			2x4	-0,21 (-0,29; 0,32)
		3x4	-1,7 (-67m4; 70,9)			3x4	1.9 (3.50; 24.9)*			3x4	-0,21 (-0,28; 0,31)

S: Série; DM: Diferença Média; IC95%: intervalo de confiança de 95%; * $P < 0,05$ diferenças entre os mesmos intervalos de recuperação nas variáveis trabalho total, pico de torque e eficiência neuromuscular.

Tabela 4. Resultados referentes à comparação da ativação muscular (Root Mean Square; em %CIVM) e índice de fadiga (IF; em %) dos músculos extensores (agonista) do joelho entre as séries, considerando-se os intervalos de recuperação investigados (IM, 60s e 120s). Dados apresentados em mediana (intervalo interquartilico). O IC95% foi estimado pela da média por ranque de cada série.

IM					
Ativação muscular (RMS %CIVM)			Índice de Fadiga		
S	DM (95%IC)		S	DM (95%IC)	
	1x2	-1,2 (-32,3; 29,8)		1x2	12,2 (-22,7; 15,5)
1	1x3	-1,5 (-33,1; 30,2)	1	1x3	20,3 (0,8; 34,3)
2	1x4	-0,9 (-30,7; 29,0)	2	1x4	17,9 (-23,8; 21,2)
3	2x3	-0,3 (-32,9; 32,5)	3	2x3	8,1 (4,0; 38,2)
4	2x4	0,3 (-30,6; 31,3)	4	2x4	5,7 (-20,5; 25,1)
	3x4	0,6 (-30,9; 32,2)		3x4	-2,4 (-39,7; 2,0)
60 s					
1	1x2	13,6 (-18,3; 45,6)	1	1x2	15,3 (-14,8; 31,3)
2	1x3	12,7 (-20,2; 45,6)	2	1x3	-7,6 (-22,1; 24,2)
3	1x4	2,2 (-34,5; 38,9)	3	1x4	-8,5 (-32,7; 17,0)
4	2x3	-0,9 (-32,9; 30,9)	4	2x3	-22,9 (-30,7; 15,7)
	2x4	-11,4 (-47,3; 24,3)		2x4	-23,8 (-41,2; 8,4)
	3x4	-10,5 (-47,29; 26,1)		3x4	-0,9 (-33,6; 15,7)
120 s					
1	1x2	3,1 (-20,6; 26,8)	1	1x2	-7,3 (-16,1; 26,8)
2	1x3	-6,5 (-31,7; 18,8)	2	1x3	6,4 (-18,1; 36,5)
3	1x4	-0,3 (-24,8; 24,3)	3	1x4	8,6 (-12,0; 35,9)
4	2x3	-9,6 (-36,8; 17,7)	4	2x3	13,7 (-18,9; 26,6)
	2x4	-3,4 (-30,0; 23,3)		2x4	15,9 (12,0; 25,1)
	3x4	6,2 (-18,4; 30,7)		3x4	2,2 (-22,3; 27,9)

S: Série; IC95%: intervalo de confiança de 95%; * $p < 0,05$ diferenças entre os mesmos intervalos de recuperação nas variáveis ativação muscular, índice de fadiga.

8.2. Grupamento muscular antagonista (flexores)

8.2.1. Comparações dos intervalos de recuperação dos músculos flexores

Os dados referentes ao trabalho total, pico de torque dos músculos flexores do joelho estão apresentados na Tabela 5. Não verificamos diferenças significantes entre os IR para o trabalho total, pico de torque ($p > 0,05$). dos músculos flexores do joelho.

Os dados da eficiência neuromuscular e ativação muscular (RMS normalizado) estão apresentados na Tabela 6. Não verificamos diferenças significantes entre os IR para a eficiência neuromuscular e ativação muscular ($p>0,05$).

Os dados fadiga muscular estão apresentados na Figura 6. Verificamos maiores índices de fadiga muscular no intervalo de IM ao comparar com os intervalos de 60s e 120s. As diferenças ocorreram nas séries 2, 3 e 4 ($p<0,05$) assinalando aumento da fadiga muscular no intervalo IM. Na comparação do intervalo de 60s versus 120s, as diferenças também foram nas séries 2 e 3. ($p<0,05$), considerando-se que a maior fadiga foi no intervalo de 60s.

Tabela 5. Resultados referentes ao trabalho total (TT, em Joule) e pico de torque (PT, em N.m/kg) dos músculos flexores (antagonista) do joelho nos intervalos de recuperação (IR) imediato (IM), 60 segundos e 120 segundos. Dados apresentados em média (desvio padrão).

TT (J)										
S	IR			IM vs 60s		IM vs 120s		60s vs 120s		ES
	IM	60s	120s	DM [IC95%]	ES	DM [IC95%]	ES	DM [IC95%]	ES	
1	989,7 (248,7)	951,5 (288,1)	1005,2 (251,5)	-38,15 [-68,6; 144,9]	-0,62	-15,55 [-114,8; 83,7]	-0,64	-53,70 [-161,0; 53,6]	-0,20	
2	874,5 (208,4)	935,2 (251,1)	959,0 (261,4)	-68,68 [-152,2; 30,8]	-0,15	-84,49 [-178,3; 9,3]	-0,11	-23,81 [-125,3; 78,0]	-0,43	
3	840,3 (228,7)	865,9 (251,7)	891,3 (272,2)	-25,62 [-121,0; 69,8]	-0,37	-51,01 [-150,8; 48,7]	-0,20	-25,31 [-129,3; 78,5]	-0,41	
4	804,5 (184,8)	849,2 (226,1)	848,3 (220,8)	-44,67 [-126,6; 37,3]	-0,18	-43,81 [-124,6; 37,02]	-0,18	0,86 [-87,8; 89,5]	-9,93	
PT (N.m/Kg)										
1	104,6 (28,5)	101,8 (31,5)	108,7 (24,7)	2,77 [-9,1; 14,7]	-0,43	-4,13 [-14,7; 6,4]	-0,26	-6,84 [-18,1; 4,4]	-0,16	
2	94,4 (25,3)	100,0 (30,9)	99,9 (34,7)	-5,60 [-16,8; 5,6]	-0,20	-5,51 [-17,5; 6,5]	-0,21	0,02 [-12,9; 13,1]	-0,14	
3	98,2 (22,3)	103,3 (21,1)	103,7 (26,5)	-5,10 [-14,6; 5,2]	-0,17	-5,58 [-15,3; 4,1]	-0,17	-0,48 [-10,0; 9,0]	-1,98	
4	92,3 (23,1)	97,0 (26,9)	101,7 (21,9)	-4,96 [-14,6; 5,2]	-0,21	-2,40 [-18,35; 0,4]	-0,09	-4,71 [-14,4; 5,0]	-0,20	

S: Série; ES: effect size; DM: Diferença média; IC95%: intervalo de confiança de 95%; * $P < 0,05$ diferenças entre os intervalos de recuperação nas variáveis trabalho total e pico de torque.

Tabela 6. Valores da eficiência neuromuscular (ENM) e ativação muscular (RMS normalizado) dos músculos flexores (antagonista) do joelho nos intervalos de recuperação (IR) imediato (IM), 60 segundos e 120 segundos. Dados apresentados em média (desvio padrão).

ENM									
S	IR			IM vs 60s		IM vs 120s		60s vs 120s	
	IM	60s	120s	DM [IC95%]	ES	DM [IC95%]	ES	DM [IC95%]	ES
1	1,26 (0,38)	1,24 (0,49)	1,23 (0,42)	0,40 [0,28; 0,52]	0,02	-0,06 [-0,19; 0,07]	-0,22	-0,46 [-0,57; 0,35]	-0,02
2	1,14 (0,49)	1,17 (0,63)	1,16 (0,54)	0,07 [-0,21; 0,07]	-0,20	-0,06 [-0,21; 0,09]	-0,24	0,01 [-0,17; 0,19]	-1,60
3	1,11 (0,36)	1,12 (0,47)	1,15 (0,40)	0,07 [-0,20; 0,02]	-0,12	-0,08 [-0,20; 0,04]	-0,15	0,01 [-0,10; 0,12]	-1,10
4	1,10 (0,37)	1,11 (0,48)	1,14 (0,41)	-0,09 [-0,20; 0,09]	-0,31	-0,12 [-0,24; 0,00]	-0,10	-0,18 [-0,21; 0,05]	-0,16
Ativação Muscular (RMS %CIVM)									
S	IR			IM vs 60s		IM vs 120s		60s vs 120s	
	IM	60s	120s	DM [IC95%]	ES	DM [IC95%]	ES	DM [IC95%]	ES
1	82,5 (3,5)	82,5 (5,6)	81,9 (4,0)	-0,02 [-1,8; 1,8]	-9,18	0,60 [-0,9; 2,11]	0,25	0,62 [-0,9; 2,1]	-0,31
2	82,4 (5,0)	82,3 (4,1)	82,8 (6,9)	0,09 [-1,7; 1,9]	-2,05	-0,48 [-2,8; 1,9]	-0,50	-0,48 [-2,8; 1,9]	-0,38
3	81,0 (3,2)	82,1 (4,6)	82,8 (4,3)	-1,1 [-4,0; 1,7]	-0,13	-1,76 [-3,2; -0,2]	-0,08	-1,76 [-3,2; -0,2]	-0,29
4	80,4 (4,1)	81,8 (4,6)	81,8 (2,3)	-1,4 [-3,2; 0,2]	-0,11	-1,47 [-2,7; -0,1]	-0,08	1,47 [-2,7; -0,1]	-1,10

S: Série; ES: effect size; DM: Diferença média; IC95%: intervalo de confiança de 95%; * $P < 0,05$ diferenças entre os intervalos de recuperação para as variáveis eficiência neuromuscular e ativação muscular.

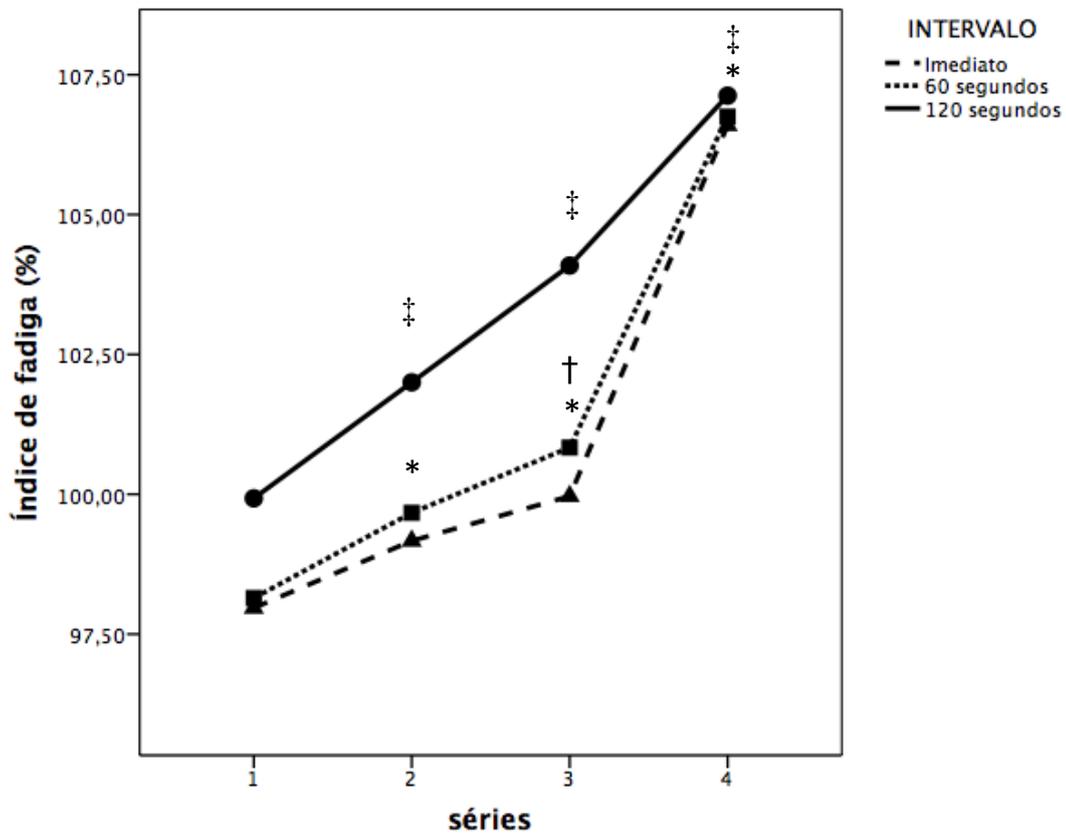


Figura 7. Índice de fadiga dos músculos flexores (antagonista) do joelho (valores em porcentagem, x 100), gerado durante a realização do exercício AAP utilizando os intervalos de recuperação (IR) imediato (IM), 60 segundos e 120 segundos; * $p < 0,05$ diferença significativa entre IM vs 60s; ‡ $p < 0,05$ diferença significativa entre IM vs 120s; † $P < 0,05$ diferença significativa entre 60s vs 120s.

8.2.2. Comparações dentro dos intervalos de recuperação dos músculos flexores

Os dados referentes ao trabalho total, pico de torque e eficiência neuromuscular para cada série estão apresentados na Tabela 7.

O trabalho total apresentou diferenças significantes entre as séries, nos intervalos IM, 60s e 120s. No intervalo IM houve uma diminuição progressiva do trabalho total ao longo das 4 séries ($p < 0,05$), com tamanho do efeito insignificante. No intervalo de 60s, verificamos uma diminuição progressiva do trabalho total, entretanto, houve diferenças significante somente entre as séries 2 e 3 ($p < 0,05$), com tamanho do efeito moderado. No intervalo de 120s, a diferença significativa foi entre a série 1 versus as séries 3 e 4 ($p < 0,05$) com tamanho do efeito moderado.

O pico de torque apresentou diferenças significantes somente no intervalo IM ($p < 0,05$). No intervalo IM, houve uma diminuição progressiva entre a série 1 até a série 3, com tamanho do efeito insignificante a moderado.

A eficiência neuromuscular apresentou diferenças significantes no intervalo IM e 60s. No intervalo IM, houve uma diminuição progressiva ao logo das quatro séries, no entanto, as diferenças significantes foram entre a séries 1 versus 3 e 4 ($p < 0,05$) com tamanho do efeito insignificante a moderado. No intervalo de 60s, houve diferenças significantes somente entre a série 1 e 4 ($p < 0,05$) com tamanho do efeito insignificante.

Tabela 7. Resultados referentes ao trabalho total (Joule), pico de torque (newton-metro/kg) e eficiência neuromuscular (N.m/microvolts), na comparação entre as séries de exercício, considerando-se os intervalos de recuperação investigados dos músculos flexores (antagonista) de joelho. Dados apresentados em média (desvio padrão).

IM							
S	TT (J)		PT (N.m/Kg)		ENM (N.m/ μv)		
	DM (95%IC)		DM (95%IC)		DM (95%IC)		
	1x2	115,1 (61,47; 168,8)*	S	1x2	10,2 (-0,72; 21,2)	1x2	0,11 (0,04; 0,27)
1	989,7 (248,7)	1x3	149,3 (74,90; 223,8)*	1	104,6 (28,5)	1x3	6,4 (0,4; 12,87)*
2	874,5 (208,4)	1x4	185,1 (126,2; 244,0)*	2	96,4 (25,3)	1x4	12,3 (2,75; 21,9)*
3	840,3 (228,7)	2x3	34,21 (-27,3; 95,7)*	3	94,2 (22,3)	2x3	-3,8 (-11,98; 4,37)
4	804,5 (184,8)	2x4	70,00 (20,6; 119,3)*	4	92,3 (23,1)	2x4	2,0 (-7,8; 11,95)
	3x4	35,79 (-21,3; 92,9)		3x4	5,8 (-0,71; 12,46)	3x4	0,01 (-0,72; 0,97)
60s							
1	951,5 (288,1)	1x2	16,3 (-83,60; 116,2)	1	101,8 (31,5)	1x2	1,8 (-6,4; 10,2)
2	935,2 (251,1)	1x3	85,5 (-34,10; 205,3)	2	100,0 (30,9)	1x3	-1,4 (-11,5; 8,6)
3	865,9 (251,7)	1x4	102,3 (-11,30; 215,9)	3	103,3 (21,1)	1x4	4,8 (-8,2; 18,0)
4	849,2 (226,1)	2x3	69,2 (2,20; 136,3)*	4	97,0 (26,9)	2x3	-3,2 (-12,1; 5,5)
		2x4	86,0 (-9,82; 181,0)			2x4	2,9 (-9,0; 15,0)
		3x4	16,7 (-84,50; 118,0)			3x4	6,2 (-1,9; 14,5)
120s							
1	1005,2 (251,5)	1x2	46,2 (-30,30; 122,7)	1	104,7 (24,7)	1x2	8,8 (-2,8; 20,5)
2	959,0 (261,4)	1x3	113,9 (19,50; 208,2)*	2	99,9 (34,7)	1x3	4,9 (-1,8; 11,7)
3	891,3 (272,2)	1x4	156,9 (68,30; 245,5)	3	103,7 (26,5)	1x4	7,0 (-1,9; 12,0)
4	848,3 (220,8)	2x3	67,6 (-41,66; 177,0)	4	101,7 (21,9)	2x3	-3,8 (-17,0; 9,3)
		2x4	110,6 (16,09; 205,3)*			2x4	-1,8 (-13,1; 9,4)
		3x4	43,0 (-59,6; 145,6)			3x4	-2,0 (-3,3; 7,4)

S: Série; DM: Diferença Média; IC95%: intervalo de confiança de 95%; * $p < 0,05$ diferenças entre os intervalos de recuperação nas variáveis trabalho total, pico de torque e eficiência neuromuscular.

Os dados referentes à ativação muscular e fadiga muscular entre as séries estão apresentados na Tabela 8.

A ativação muscular apresentou diferenças significantes ($p < 0,05$) entre as quatro séries somente no intervalo IM. A diferenças assinalaram uma diminuição progressiva ao longo das 4 séries com o tamanho do efeito insignificante a moderado. No intervalo 60s e 120s não foram observadas diferenças significantes ($p > 0,05$) entre as séries.

O índice de fadiga apresentou diferenças significantes ($p < 0,05$) considerando uma queda progressivamente ao longo das 4 séries em todos os intervalos analisados. Nos intervalos IM, 60s e 120s o tamanho do efeito foi insignificante.

Tabela 8. Resultados referentes a ativação muscular (RMS normalizado) e Índice de fadiga (%), na comparação entre as séries de exercício, considerando-se os intervalos de recuperação investigados dos músculos flexores (antagonista) de joelho. Dados apresentados em média (desvio padrão).

IM					
Ativação Muscular (RMS %CIVM)			Índice de fadiga		
S	DM (95%IC)		S	DM (95%IC)	
	1x2	0,15 (-2,40; 2,7)		1x2	-2,07 (-3,65; -0,49)*
1	82,5 (3,5)	1x3 1,51 (-0,40; 3,42)	1	97,96 (0,27)	1x3 -4,16 (-6,57; -1,74)*
2	82,4 (5,0)	1x4 2,13 (0,06; 4,2)†	2	98,16 (0,34)	1x4 -7,19 (-8,44; -5,95)*
3	81,0 (3,2)	2x3 1,35 (-1,13; 3,84)	3	101,96 (0,55)	2x3 -2,08 (-4,62; 0,45)*
4	80,4 (4,1)	2x4 1,97 (0,18; 4,14)	4	106,7 (2,9)	2x4 -5,12 (-6,80; -6,57)*
	3x4	0,62 (-1,25; 2,50)		3x4	-3,03 (1,74; 6,57)*
60s					
1	82,5 (5,6)	1x2 0,25 (-2,16; 2,67)	1	98,14 (0,27)	1x2 -1,19 (-2,19; 0,20)*
2	82,3 (4,1)	1x3 0,37 (-2,47; 3,23)	2	99,66 (0,33)	1x3 1,99 (-3,13; -0,86)*
3	82,1 (4,6)	1x4 0,67 (-2,37; 3,71)	3	100,83 (0,55)	1x4 -8,62 (-9,70; -7,54)*
4	81,8 (4,6)	2x3 0,12 (-2,18; 2,43)	4	105,75 (0,28)	2x3 -0,79 (-1,85; 0,25)*
		2x4 0,41 (-1,94; 2,77)			2x4 -7,42 (-8,41; -6,43)*
		3x4 0,29 (-2,08; 2,67)			3x4 -6,63 (-7,70; -5,55)*
120s					
1	81,9 (4,0)	1x2 -0,93 (-4,12; 2,24)	1	98,92 (0,27)	1x2 -1,52 (-2,48; -0,56)*
2	82,8 (6,9)	1x3 -0,85 (-2,97; 1,27)	2	99,92 (0,34)	1x3 -2,69 (-3,76; -1,61)*
3	82,8 (4,3)	1x4 0,05 (-1,88; 1,99)	3	102,01(0,55)	1x4 -8,60 (-9,35; -7,85)*
4	81,8 (2,3)	2x3 0,08 (-2,58; 2,75)	4	106,9 (0,29)	2x3 -1,16 (-1,90; -0,43)*
		2x4 0,99 (1,77; 3,76)			2x4 -7,08 (-8,05; -6,10)*
		3x4 0,90 (-0,87; 2,68)			3x4 -5,91 (-7,03; -4,80)*

S: Série; ES: effect size; DM: Diferença Média; IC95%: intervalo de confiança de 95%;
 * $p < 0,05$ diferenças entre os intervalos de recuperação nas variáveis ativação muscular e índice de fadiga.

9. DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi comparar os efeitos de diferentes intervalos de recuperação entre as ações agonistas e antagonistas durante o exercício agonista e antagonista pareado em séries, considerando-se os desfechos ativação muscular, fadiga e eficiência neuromuscular, dos músculos extensores e flexores do joelho, em adultos sadios jovens.

Nos músculos extensores (agonistas), não encontramos diferenças entre os intervalos adotados, tanto para a geração de força, quanto para o trabalho total e eficiência neuromuscular. Entretanto, verificamos que a magnitude da ativação muscular foi menor nos intervalos imediato e 60 segundos, comparado ao IR mais longo (120 segundos). Por outro lado, encontramos indícios de que o IR menor (IM) propiciou um menor índice de fadiga muscular. Provavelmente o índice de fadiga foi menor no intervalo IM devido as ações promovidas pela ativação muscular dos músculos antagonistas que promovem uma ativação dos fusos musculares e do órgão tendinoso de goldi).

Os músculos flexores (antagonistas), não encontramos diferenças entre os intervalos, na geração de força, trabalho total, eficiência neuromuscular e ativação muscular. Entretanto, verificamos que a fadiga muscular foi maior nos intervalos menores (IM e 60s) quando comparado com o intervalo mais longo (120 segundos).

No presente estudo, não foram encontradas diferenças significantes entre os IR, no trabalho total gerado pelos músculos extensores do joelho. Corroborando com nossos achados, um estudo prévio (9) analisou o efeito de dois intervalos no exercício AAP e verificou que um IR de dois minutos entre os movimentos agonistas e antagonistas não apresentou diferenças na produção de trabalho, quando comparado com IR de quatro minutos.

Diversos estudos (9, 30, 80) reforçam a importância do IR em exercícios com séries múltiplas. No nosso estudo, houve queda na geração de trabalho ao longo das séries,

principalmente nos intervalos IM e 60s comparado ao IR de 120s. Tais achados podem ser explicados por um desequilíbrio metabólico.

Alterações nas concentrações de cálcio, fosfato e hidrogênio no interior da fibra muscular bem como a diminuição do ATP disponível na célula durante a contração podem ser responsáveis pela alteração do mecanismo de pontes cruzadas (81, 82). Nesse contexto, a duração do IR determina a magnitude da recuperação muscular que ocorre entre as séries e entre exercícios adotados.

O reabastecimento do sistema ATP-fosfocreatina, o aumento da geração H^+ no metabolismo da energia glicolítica e a remoção do lactato ocorrem durante o período de recuperação. Dentro de 20 segundos de recuperação, aproximadamente 50% de ATP-fosfocreatina e creatina kinase são restauradas, e 85% são restaurados dentro de três minutos (81). Desse modo, é possível supor que o IR de 120s tenha proporcionado uma recuperação adequada e, conseqüentemente, favoreceu o desempenho nas séries subsequentes.

Por outro lado, houve indícios de que tanto o IM quanto o IR de 60s não foram suficientes para a recuperação, e supomos que os voluntários realizaram as repetições subsequentes com a presença da fadiga muscular. Entretanto, recomendamos cautela na interpretação, considerando que não encontramos diferenças significantes entre os IR.

Nos músculos flexores do joelho, também não encontramos diferenças significantes entre os intervalos no trabalho total. Robbins et al. (8), com o objetivo de analisar os efeitos agudos do volume do treino, utilizaram exercício AAP e o exercício tradicional. Os voluntários realizaram três séries de quatro repetições máximas nos exercícios de puxada e supino reto. Os resultados demonstraram que o volume do treino foi maior no exercício AAP. Entretanto, ao longo das três séries, foram encontradas quedas para ambos os exercícios (AAP e tradicional). Porém, as quedas foram significativamente maiores no método tradicional. Nesse contexto, o grupo de pesquisa evidenciou a superioridade do volume no exercício AAP, mas destaca-se que

IR de 2 e 4 minutos não foram suficientes para recuperar o grupamento muscular flexor do joelho.

Os resultados do estudo prévio (8) corroboraram com nossos achados, pois identificamos quedas no trabalho total ao logo das quatro séries, em todos os intervalos investigados. Portanto, parece que os músculos flexores do joelho se comportam de forma distinta comparado à musculatura extensora do joelho quanto ao volume do treino. Assim, sugere-se que o IR de até 120s não seja suficiente para a manutenção do volume do treino ao longo das séries, para os músculos flexores do joelho.

No presente estudo, os achados do pico de torque dos músculos extensores do joelho não foram diferentes entre os IR investigados. Estudos prévios (32, 83) relataram que indivíduos jovens precisam de um IR com maior duração para maximizar os ganhos de força muscular. No entanto, há indícios de que indivíduos iniciantes nos programas de exercício resistido precisam de IR mais longos, e jovens em fases intermediárias poderiam se beneficiar com IR menores, os quais propiciariam ganhos similares de força em comparação a intervalos de longa duração (84, 85). Em contraste da literatura, mesmo a população investigada sendo iniciante ao ER, os intervalos investigados não influenciaram a produção da força muscular.

A ausência de diferenças entre os IR também pode ser explicada pelo número de repetições adotado. Segundo Brown e Weir (86), para avaliar o pico de torque, recomenda-se não ultrapassar cinco repetições em cada série, uma vez que a pré-ativação neural das unidades motoras pode afetar as variáveis da força muscular, o que favorece a geração de maior torque no início da série de exercício.

Verificamos diferenças do pico de torque ao longo das séries nos intervalos IM, 60s e 120s. Ao que parece, o protocolo foi intenso o suficiente para gerar fadiga neural periférica. A fadiga neural pode estar associada a falhas na junção neuromuscular, no sarcolema, nos túbulos transversos e no retículo sarcoplasmático, o qual está envolvido no armazenamento, liberação

e recepção de cálcio (87). No estudo de Hakkinen (88), durante a realização de cinco séries de dez repetições máximas, utilizando três minutos de IR, a força dos membros inferiores diminuiu 18.8% imediatamente após o exercício. Assim, é possível supor que o exercício foi intenso e provocou fadiga aguda do sistema neuromuscular, devido à diminuição da atividade neural.

No presente estudo, o pico de torque dos músculos flexores do joelho não diferiu entre os IR investigados. Provavelmente, esses resultados ocorreram por conta da particularidade do grupamento muscular, que é mais resistente devido à predominância de fibras musculares do tipo I (29). Verificamos quedas do pico de torque dos músculos flexores do joelho ao longo das séries, somente no intervalo IM, em contraste com os resultados dos músculos extensores, em que verificamos diferenças do pico de torque, ao longo das séries, em todos os IR investigados. As diferenças podem ser explicadas pela predominância das fibras musculares tipo II dos músculos vasto lateral e vasto medial oblíquo, uma vez que são predominantemente da fibra tipo II, altamente energéticos, e mais fadigáveis (28).

No presente estudo, a eficiência neuromuscular não diferiu entre os IR investigados (IM, 60s e 120s) para os músculos extensores do joelho. A eficiência neuromuscular é um índice que avalia a condição funcional (reponsividade muscular) de um grupamento muscular (89, 90). Vários estudos demonstraram que esse índice é uma importante ferramenta de triagem que permite avaliar a responsividade muscular e o desempenho funcional decorrente de programas específicos de treinamento esportivo ou de reabilitação (90, 91).

David et al. (89) utilizaram a eficiência neuromuscular com o objetivo de investigar a capacidade funcional do músculo reto abdominal, de acordo com sexo e treinamento esportivo. Os autores encontraram resultados diferentes da eficiência neuromuscular ao comparar os homens com as mulheres. Além disso, foi observado capacidades funcionais diferentes entre o mesmo sexo, mas que praticam esportes diferentes. Essas diferenças encontradas refletem as

adaptações neurais e musculares ligadas à especificidade do treinamento das diferentes modalidades esportivas. Como adotamos um modelo de resposta aguda no nosso estudo, o exercício AAP não foi realizado em tempo suficiente para gerar adaptações neurais e musculares, o que poderia explicar os achados. Além disso, podemos supor que as repostas da ativação muscular (RMS) e PT foram de magnitudes similares entre as IR.

Apesar da ausência de significância entre os IR analisados, observamos diferenças significantes entre a primeira série comparada com as séries subsequentes no IR imediato. Tal achado sugere que intervalos menores poderiam afetar a eficiência neuromuscular. No entanto, comparações com a literatura foram limitadas, e sugerimos que futuros estudos incluam a eficiência neuromuscular na comparação entre diferentes intervalos de recuperação.

De modo similar aos músculos extensores do joelho, os músculos flexores do joelho não diferiram entre os IR investigados, na eficiência neuromuscular. Ao que parece, os IR investigados não influenciaram o estado funcional do grupamento muscular dos flexores do joelho. No entanto, verificamos quedas da eficiência neuromuscular ao longo das séries, nos intervalos menores (IM e 60s).

Tais achados sugerem que a adoção de IR menores poderiam influenciar a eficiência neuromuscular, em consequência de uma piora da responsividade muscular. Os achados são interessantes e estão em acordo com relatos prévios, nos quais foram encontradas diferenças no estado funcional de determinados grupos musculares de acordo com sexo, e prática de modalidades esportivas (89-91).

No presente estudo, a ativação muscular foi diferente somente entre o IR de 60 segundos comparado ao IR de 120s nos músculos extensores do joelho. As diferenças foram assinaladas na 2ª, 3ª e 4ª séries. Curiosamente, as diferenças indicaram uma maior ativação muscular no IR de 60 segundos. Maynard e Ebben (45) utilizaram o exercício AAP nos músculos flexores e extensores do joelho, e observaram quedas da ativação muscular dos músculos extensores do

joelho ao comparar com o exercício sem a pré-ativação muscular. No entanto, os autores adotaram exercícios de alongamento estático para o quadríceps como parte do aquecimento, o que pode ter sido responsável pela redução da ativação muscular.

Outro estudo (14) comparou os efeitos de diferentes IR na ativação muscular de homens fisicamente ativos, que realizaram o exercício AAP. Todos os voluntários foram submetidos a exercícios sem pré-ativação, e a AAP foi executada utilizando IR entre as ações agonistas e antagonistas de 30 e 60 segundos, e 3 e 5 minutos. Os autores demonstraram que a ativação muscular agonista foi maior nos grupos que utilizaram IR menores (Imediato e 30s). A divergência dos achados pode ser explicada pelo modo como a intensidade foi empregada. No estudo prévio (14) foram utilizados aparelhos isoinerciais (extensor e flexor do joelho), e a carga foi ajustada pela repetição máxima. No presente estudo utilizamos a dinamometria isocinética, e a velocidade adotada foi de 60°/s.

Para os músculos flexores do joelho, os dados da ativação muscular não apresentaram diferenças significantes entre os IR analisados. O estudo de Robbins (46), com o objetivo analisar ativação muscular, utilizaram o exercício AAP e compararam com o modelo tradicional. Contrariando os resultados do nosso estudo, os pesquisadores não encontraram quedas da ativação muscular ao longo das séries nos músculos antagonistas.

No nosso estudo, a ativação muscular apresentou diferenças ao longo das quatro séries somente no intervalo IM, demonstrando uma diminuição progressiva ao longo das séries. As discordâncias entre os estudos ocorreram, provavelmente, devido as diferenças metodológicas entre os estudos. No estudo de Robbins, foram utilizados quatro minutos de IR entre as séries, além disso, investigou-se a musculatura dos membros superiores. No presente estudo, utilizamos exercícios do membro inferior e o intervalo em que foi detectado diferença foi o IM.

Verificamos que o índice de fadiga dos músculos extensores do joelho foi menor no intervalo IM quando comparado com o intervalo de 60 segundos na 3ª e 4ª série (diferença com

magnitude pequena), e as diferenças entre os intervalos de 60s e 120s foi apresentada na 4ª série.

Carregaro et al. (13) compararam três modelos de pré-ativação antagonista e demonstraram que o exercício AAP gerou índices de fadiga mais elevados nos extensores do joelho quando comparado com o protocolo denominado por ação recíproca e o método tradicional. Outro achado interessante dos autores foi que a fadiga muscular durante o exercício AAP foi associada com maiores concentrações de lactato sanguíneo. No entanto, os autores não esperavam que a inclinação da fadiga muscular no protocolo de ação recíproca fosse semelhante ao protocolo tradicional. Este menor índice de fadiga no protocolo tradicional pode ser devido à ordem de pré-ativação do musculo antagonista, considerando que foram feitas quatro séries de exercícios de flexão seguidas de quatro séries de exercícios de extensão do joelho. Portanto, esse método pode ter levado a um maior grau de recuperação muscular. Do mesmo modo, no presente estudo ao utilizar o IR curto entre o exercício agonista e antagonista foi evidenciando quedas na fadiga.

Vários fatores podem provocar a fadiga muscular, incluindo fatores neuromusculares e metabólicos. A fadiga metabólica no nível celular pode ser atribuída ao acúmulo de vários subprodutos, os quais podem perturbar o ciclo de deslizamento da actina e miosina (8, 93). A fadiga não metabólica também pode resultar de atividade intensa e é caracterizada por desorientação miofibrilar e dano do citoesqueleto (93). O exercício AAP foi suficiente para provocar uma desordem miofibrilar, sendo assim, sugere-se que IR longos sejam adotados entre as ações antagonistas e agonistas, quando o objetivo é evitar os efeitos deletérios da fadiga muscular durante a prática do exercício AAP.

No presente estudo, o índice de fadiga muscular dos flexores do joelho foi maior quando foi utilizado IR menores, diferentes dos achados encontrados nos músculos extensores do joelho. Além disso, ao analisar os IR ao longo das séries foi verificado quedas progressivas em

todos os IR utilizados. Portanto, os IR utilizados não foram suficientes para recuperação muscular. Os resultados do estudo corroboram com os resultados encontrados em um estudo (9) prévio que analisou os efeitos de 2 e 4 minutos de IR no exercício AAP. Os autores do estudo constataram um aumento da fadiga quando foi utilizado o IR de 2 minutos sem ser afetado o número de repetições máximas. Assim, sugerem que esse aumento da fadiga pode estar associando a um recrutamento adicional da unidade motora e/ou aumento da sincronização espacial ou temporal das unidades motoras devido à fadiga muscular (26).

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os achados do presente estudo fornecem evidências de que, para os músculos extensores (agonistas) do joelho, os diferentes intervalos de recuperação adotados entre as ações agonistas e antagonistas no exercício AAP não foram diferentes em homens jovens saudáveis. Ainda, os IR não influenciaram a geração de força, trabalho e eficiência neuromuscular. Entretanto, para a geração de força, trabalho e eficiência neuromuscular, encontramos indicativos (a partir do tamanho do efeito) de que um intervalo de recuperação mais longo (120s) proporciona maior geração de força, manutenção do trabalho e eficiência neuromuscular. A ativação muscular e o índice de fadiga foram influenciados pelos intervalos de recuperação. Os achados indicaram que intervalos curtos (IM e 60s) proporcionaram menor magnitude da ativação muscular. Por outro lado, para evitar a fadiga muscular, o intervalo curto (IM) parece ser melhor comparado a intervalos maiores (60s e 120s).

Para os músculos antagonistas (flexores), os diferentes intervalos de recuperação entre as ações agonistas e antagonistas no exercício AAP não diferiram quanto à força, trabalho, eficiência neuromuscular e ativação muscular. No entanto, há indícios (a partir do tamanho do efeito) de que o intervalo mais longo (120s) facilita a geração de força, trabalho e eficiência neuromuscular de modo similar ao grupamento muscular extensor. No grupo flexor, a ativação muscular e o índice de fadiga também foram influenciados pelos intervalos de recuperação. Os achados indicaram que intervalos menores (IM e 60s) proporcionaram menor magnitude da ativação muscular. Do mesmo modo, se o intuito é prevenir a fadiga muscular, intervalo de recuperação mais longo (120s) parece ser mais adequado.

Os músculos extensores e flexores do joelho responderam de forma similar sob a influência dos intervalos de recuperação, durante a execução do exercício AAP. Entretanto, os

músculos extensores parecem ser mais suscetíveis à fadiga muscular em comparação com os músculos flexores. Ressalta-se que nenhum dos intervalos foi suficiente para a manutenção do trabalho total (volume do exercício) ao longo das séries. Portanto, se o treinamento é prescrito com a finalidade de manter o volume do treino, nossos achados recomendam a adoção de um intervalo mais longo (120s). De modo contrário, se o intuito do treinamento é a hipertrofia muscular e maiores níveis de fadiga durante a sessão, um intervalo curto (IM ou 60s) poderia ser recomendado.

11. REFERÊNCIAS

1. Cardoso EA, Bottaro M, Pamella R, Rezende C, Fischer T, Mota J, et al. Chronic effects of resistance exercise using reciprocal muscle actions on functional and proprioceptive performance of young individuals: randomized controlled trial. *Revista Brasileira Cineantropometria e Desempenho Humano*. 2014;16:618-28.
2. Cardoso EA, Bottaro M, Pamella R, Souza IE, João D, Lima R, et al. Effects of six weeks of resistance exercise with reciprocal contractions on knee extensors neuromuscular performance: randomized controlled trial. *Isokinetics and Exercise Science*. 2015;23:109-16.
3. Cardoso EA, Souza IE, Fernandes A, Toledo AM, Carregaro RL. Relação entre o equilíbrio postural de jovens universitários avaliados por uma plataforma de equilíbrio e o Star Excursion Balance Test. *Perspectivas Experimentais e Clínicas, Inovações Biomédicas e Educação em Saúde*. 2016, 2, 32-37.
4. Cunha R, Carregaro RL, Martorelli A, Vieira A, Oliveira AB, Bottaro M. Effects of short-term isokinetic training with reciprocal knee extensors agonist and antagonist muscle actions: A controlled and randomized trial. *Brazilian Journal of Physical Therapy*. 2013;17 137-45.
5. Robbins D, Young W, Behm D, Payne W. Agonist-antagonist paired set resistance training: A brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010;24:2873–82.
6. Paz GA, Robbins D, Oliveira CGD, Bottaro M, Miranda H. Volume load and neuromuscular fatigue during an acute bout of agonist-antagonist paired-set vs. Traditional-set training *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2017;31:2777–84.
7. Robbins D, Young W, Behm D, Payne W. The effect of a complex agonist and antagonist resistance training protocol on volume load, power output, electromyographic responses, and efficiency. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010;24:1782-9.
8. Robbins D, Young WB, Behm DG. The effect of an upper-body agonist–antagonist resistance training protocol on volume load and efficiency. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010;24:2632–40.
9. Maia MF, Paz GA, Miranda H, Lima V, Bentes CM, Novaes JdS, et al. Maximal repetition performance, rating of perceived exertion, and muscle fatigue during paired set training performed with different rest intervals. *Journal of Exercise Science and Fitness*. 2015;13:104 -10.

10. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, Housh, Kraemer WJ, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2009;41:687–708.
11. Pescatello L, Franklin B, Fagard R, Farquhar W, Kelley G, Ray C. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2004;36:533-3
12. Warburton D, Nicol C, Bredin S. Prescribing exercise as preventive therapy. *Canadian Medical Association Journal*. 2006;174:961–74.
13. Carregaro RL, Cunha R, Oliveira CG, Brown LE, Bottaro M. Muscle fatigue and metabolic responses following three different antagonist pre-load resistance exercises. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2013;23(5):1090-1096.
14. Maia MF, Willardson DJ, Gabriel P, Humberto M. Effects of different rest intervals between antagonist paired sets on repetition performance and muscle activation. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2014;28:2529–35.
15. Carregaro RL, Cunha RR, Cardoso JR, Pinto RS, Bottaro M. Efeitos da ordem de pré-ativação dos músculos antagonistas nas respostas neuromusculares dos extensores do joelho. *Revista Brasileira de Fisioterapia*. 2011;15:452-9.
16. Baker D, Newton R. Acute effects on power output of alternating an agonist and antagonist muscle exercise during complex training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005;19:202–5.
17. Bottaro M, Martins B, Gentil P, Wagner D. Effects of rest duration between sets of resistance training on acute hormonal responses in trained women. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2009;12:73-8.
18. Ratamess N, Falvo M, Mangin G, Hoffman J, Faigenbaum A, Kang J. The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 2007;100:1-17.
19. Kraemer W, Ratamess N. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Medicine*. 2005;35:339–61.
20. Woods S, Bridge T, Nelson D, Risse K, Pincivero D. The effects of rest interval length on ratings of perceived exertion during dynamic knee extension exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2004;18:540-5.
21. Behm D, Reardon G, Fitzgerald J, Drinkwater E. The effect of 5, 10, and 20 repetition maximums on the recovery of voluntary and evoked contractile properties. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2002;16:209-18.

22. Richmond S, Godard M. The effects of varied rest periods between sets to failure using the bench press in recreationally trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2004;18:846-9.
23. Willardson J, Burkett L. A comparison of 3 different rest intervals on the exercise volume completed during a workout. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005;19:23-6.
24. Robbins D, Young WB, Behm DG, Payne WR. Effects of agonist–antagonist complex resistance training on upper body strength and power development. *Journal of Sports Sciences*. 2009;27:1617–162.
25. Carregaro RL, Gentil P, Brown LE, Pinto RS, Bottaro M. Effects of antagonist pre-load on knee extensor isokinetic muscle performance. *Journal of Sports Sciences*. 2011;29:271-8.
26. Dimitrov GV, Arabadzhiev TI, Mileva KN, Bowtell JL, Crichton N, Dimitrova ANA. Muscle fatigue during dynamic contractions assessed by new spectral indices. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2006;38:1971-9.
27. Spreuwenberg L, Kraemer WJ, Spiering B, Volek J, Hatfield D, Sivistre R, et al. Influence of exercise order in a resistance-training exercise session. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2006;1:141-4.
28. Rainoldi A, Nazzaro M, Merletti R, Farina D, Caruso I, Gaudenti S. Geometrical factors in dynamic surface EMG of vastus medialis and lateralis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2000;10:327-36.
29. Onishi H, Yagi R, Oyama M, Akasaka K, Ihashi K, Handa Y. EMG-angle relationship of the hamstrings muscle during maximum knee flexion. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2002;12:399-406.
30. Bottaro M, Brown LE, Celes R, Martorelli S, Carregaro RL, Vidal JCB. Effect of Rest Interval on Neuromuscular and Metabolic Responses Between Children and Adolescents. *Pediatric Exercise Science*. 2011;23: 311-21.
31. Salles BF, Simão R, Miranda F, Novaes JS, Lemos A, Willardson JM. Rest Interval between Sets in Strength Training. *Sports Medicine*. 2009;39:767-77.
32. Salles BF, Simão R, Miranda H, Bottaro M, Fontana F, Willardson JM. Strength increases in upper and lower body are larger with longer inter-set rest intervals in trained men. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2010;13:429-33.
33. Cossenza CE. *Musculação métodos e sistema* 2ª ed. 2001.
34. Prestes J, Foschini D, Marchetti P, Charro M, Tibana R. *Precisão e periodização do treinamento de força em academias* 2ª ed. 2016.

35. Augustsson J, Thomeé R, Horn-stedt P, Lindblom J, Karlsson J, Grimby G. Effect of pre-exhaustion exercise on lower-extremity muscle activation during a leg press exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2003;17:411-6.
36. Fisher JP, Carlson L, Steele J, Smith D. The effects of pre-exhaustion, exercise order, and rest intervals in a full-body resistance training intervention. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*. 2014;39:1265-70.
37. Harlan KG, Merucci RB, Weaver JJ, Windle TC, Malek MH. Pre-Exhaustion Exercise Differentially Influences Neuromuscular Fatigue Based On Habitual Physical Activity History. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2018;0:0.
38. Soares EG, Brown LE, Gomes WA, Corrêa DA, Serpa ErP, Silva JJ, et al. Comparison between Pre-Exhaustion and Traditional Exercise Order on Muscle Activation and Performance in Trained Men. *Journal of Sports Science and Medicine* 2016;15:111-7.
39. Salles B, Oliveira N, Ribeiro F, Simão R, Novaes J. Comparação do método pré-exaustão e da ordem inversa em exercícios para membros inferiores. *Revista Educação Física*. 2008;19:85-92.
40. Júnior VAR, Bottaro M, Pereira MCC, Andrade MM, Júnior PRP, Carmo JC. Análise eletromiográfica da pré-ativação muscular induzida por exercício monoarticular. *Revista Brasileira de Fisioterapia*. 2010;14:158-65.
41. Gentil P, Oliveira E, Junior VDAR, Carmo JD, Bottaro M. Effects of exercise order on upper-body muscle activation and exercise performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2007;21:1082-6.
42. Augustsson J, Thomeé R, Horn-stedt P, Lindblom J, Karlsson J, Grimby G. Effect of pre-exhaustion exercise on lower-extremity muscle activation during a leg press exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2003;17:411-6.
43. Júnior VAR, Bottaro M, Pereira M, Andrade MM, Paulo PJ, Carmo J. Análise eletromiográfica da pré-ativação muscular induzida por exercício monoarticular. *Revista Brasileira de Fisioterapia*. 2010;14:158-65.
44. Rauno APS, Raeder C, Wiewelhove T, Kellmann M, Meyer T, Pfeiffer M, Ferrauti A. Muscle mechanical properties of strength and endurance athletes and changes after one week of intensive training. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2016;30:73-80.
45. Maynard J, Ebben WP. The effects of antagonist pre-fatigue on agonist torque and electromyography. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2003;17:469-74.

46. Robbins D, Young W, Behm D, Payne W, Klimstra M. Physical performance and electromyographic responses to an acute bout of paired set strength training versus traditional strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010;24:1237–45.
47. Miranda H, Scudese E, Paz GA, Salerno VP, Vigário PS, Souza J, et al. Acute hormone responses subsequent to agonist-antagonist paired set vs. Traditional straight set resistance training *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2018;0:1-9.
48. Bompa TO. *A periodização no treinamento esportivo* Manole Ltda ed. 1ª ed. 2001.
49. Antunes L, Bezerra ES, Sakugawa RL, Pupo JD. Effect of cadence on volume and myoelectric activity during agonist-antagonist paired sets (supersets) in the lower body. *Sports Biomechanics*. 2017;17:552-63.
50. Fleck SJ, Kraemer WJ. *Fundamentos do Treinamento de Força Muscular* 4ªed. 2017.
51. Theou O, Jones R, Gareth, Brown LE. Effect of rest interval on strength recovery in young and old women. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008;22(6):1876–81.
52. Deschenes M, Kraemer J. Performance and physiologic adaptations to resistance training. *American journal of physiology Regulatory*. 2002;81:3-16.
53. Bolster D, Kubica N, Crozier S, Wiliamson D, Farrell P, Kimball D. Immediate response of mammalian target of rapamycin (mTOR) - mediated signalling following acute resistance exercise in rat skeletal muscle. *The Journal of Physiology*. 2003;553:213-20.
54. Willoughby D, Chilek D, Schiller D, Coast J. The metabolic effects of three different free weight paralld squatting intensities. *Journal of human movement studies*. 1991;21:53-67.
55. Simão R, Spinetti J, Salles B, Oliveira L, Ribeiro F, Costa P. Influence of exercise order on maximum strength and muscle volume in untrained men. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2010;9:1–7.
56. Kraemer W, Ratamess N. Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2004;36:674-88.
57. Serra R, Saavedra F, Salles BFd, Dias MR, Costa PB, Alves H, et al. The Effects of Resistance Training Frequency on Strength Gains. *Journal of Exercise Physiology*. 2915;18:37-45.
58. Baechle TR, Earle RW. *Essentials of strength training and conditioning* 2ª.ed. 2000.
59. McKendry J, López AP, McLeod M, Luo D, Dent JR, Smeuninx B, et al. Short inter-set rest blunts resistance exercise-induced increases in myofibrillar protein synthesis and intracellular signalling in young males. *Experimental Physiology*. 2016;101:866–82.

60. Woods S, Bridge T, Nelson D, Risse K, Pincivero DM. The effects of rest interval length on ratings of perceived exertion during dynamic knee extension exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2004;18: 540–5.
61. Gonzalem AM. Effect of interset rest interval length on resistance exercise performance and muscular adaptation. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2016;38:65-8.
62. Abdessemed D, Duch P, Hautier C, Poumarat G, Bedu M. Effect of recovery duration on muscular power and blood lactate during the bench press exercise *Journal of Sports Medicine*. 1999;6:368-73.
63. Grgic J, Schoenfeld BJ, Skrepnik M, Davies TB, Mikulic P. Effects of Rest Interval Duration in Resistance Training on Measures of Muscular Strength: A Systematic Review. *Sports Medicine*. 2017;48:137-51.
64. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010;24:2857–72.
65. Bottaro M, Brown LE, Celes R, Martorelli S, Carregaro RL, Vidal JCB. Effect of Rest Interval on Neuromuscular and Metabolic Responses Between Children and Adolescents. *Pediatric Exercise Science*. 2011;23: 311-21.
66. Tibana RA, Prestes J, Nascimento DC, Martins O, Santana FS, Balsamo S. Higher muscle performance in adolescents compared with adults after a resistance training session with different rest intervals. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2012;26(4):1027–32.
67. Faigenbaum AD, Ratamess NA, McFarland J, Kaczmarek J, Coraggio MJ, Kang J, et al. Effect of Rest Interval Length on Bench Press Performance in Boys, Teens, and Men. *Pediatric Exercise Science*. 2008;20:457-69.
68. Willardson J, Burkett L. The effect of rest interval length on the sustainability of squat and bench press repetitions. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2006;20:400-3.
69. Willardson J, Burkett L. A comparison of 3 different rest intervals on the exercise volume completed during a workout. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005;19:23-6.
70. Celes R, Bottaro M, Veloso J, Ernesto C, Brown L. Effect of recovery interval between sets of isokinetic knee extensions among untrained young men. *Revista Brasileira Fisioterapia*. 2009;13:324-9.
71. Davó JH, Ruiz JB, Sabido R. Influence of strength level on the rest interval required during an upper-body power training session. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2017;31:339-47.

72. Rahimi R. Effect of different rest intervals on the exercise volume completed during squat bouts. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2005;4:361-6.
73. Willardson J. A brief review: factors affecting the length Of the rest interval between resistance Exercise sets. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2006;20:978–84.
74. Domholdt E. *Physical therapy research principles and applications*. 2^a.Ed.2000.
75. Merletti R. Standards for reporting EMG data. International Society of Electrophysiology and Kinesiology. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 1999.
76. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2000;10:361–74.
77. Burden A. How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? Whats we have learned from over 25 years of research. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 2010;20:1023-35.
78. Matthew R. Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2004;18:918-29.
79. Tomczak M, Tomczak E. The need to report effect size estimates revisited. An overview of some recommended measures of effect size. *Trends in sport sciences*. 2014;1:19-25.
80. Oliveira E, Gentil P, Bottaro M. O intervalo de recuperação afeta o volume da sessão de exercício resistido em mulheres? *Fisioterapia em Movimento*. 2009;22:239-47.
81. McMahon S, Jenkins D. Factors affecting the rate of phos-phocreatine resynthesis following intense exercise *Sports Medice*. 2002;32:761–84
82. Allen D, Lamb G, Westerblad H. Impaired calcium release during fatigue. *Journal of Applied Physiology* 2008;104:296–305.
83. Schoenfeld BJ, Pope ZP, Benik MF, Sellers et al. Longer intersets rest periods enhance muscle strength and hypertrophy in resistancetrained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2015;30:1805-12.
84. Júnio TPS, Willardson JM, Bloomer R, Leite RD, Fleck SJ, Oliveira PR, et al. Strength and hypertrophy responses to constant and decreasing rest intervals in trained men using creatine supplementation. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2011;2011:8-17.
85. Souza JD, Fleck S, Simão R, Dubas J, Pereira B, Pacheco E, et al. Comparison between constant and decreasing rest intervals: influence on maximal strength and hypertrophy. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2010;24:1843-50.

86. Brown LE, Joseph PW. ASEP procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. *Journal of Exercise Physiology* 2001;4.
87. Powers SK, Howley ET. *Fisiologia do exercício*. 5ª. ed. 2006.
88. Hakkinen K. Neuromuscular fatigue and recovery in women at different ages during heavy resistance loading. *Electromyography Clinical Neurophysiology* 1995;35:403-13.
89. David P, Mora I, Pérot. C. Neuromuscular efficiency of the rectus abdominis differs with gender and sport practice. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008;22:1855-61.
90. Deschenes M, Giles J, McCoy R, Volek J, Gomez A, Kraemer W. Neural factors account for strength decrements observed after short-term muscle unloading. *American Journal of physiology Regulatory*. 2002;282:578-83.
91. Chaves SF, Marques NIP, Silva RmL, Rebouças NS, Freitas LM, Lima POP, et al. Neuromuscular efficiency of the vastus medialis obliquus and postural balance in professional soccer athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*. 2012;2:121-6.
92. Lippold O. The relation between integrated action potentials in a human muscle and its isometric tension. *Journal of Physiology*. 1952;4:492-9.
93. Green H. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise *Journal of Sports Sciences*. 1997;15:247-56.

12. APÊNDICE

12.1. Apêndice I - Parecer Consubstanciado Do Cep



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Efeitos do intervalo de recuperação no desempenho neuromuscular durante a execução do modelo de exercício resistido em supersérie

Pesquisador: Rodrigo Luiz Carregaro

Área Temática:

Versão: 4

CAAE: 31868514.5.0000.0030

Instituição Proponente: Faculdade de Ceilândia - FUNDACAO UNIVERSIDADE DE BRASILIA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.210.646

Apresentação do Projeto:

Trata-se de emenda ao projeto de pesquisa que será desenvolvido na modalidade de iniciação científica. O exercício resistido (ER) é considerado um dos meios mais eficazes para melhorar a capacidade funcional do sistema neuromuscular, sendo recomendado para o desenvolvimento de força muscular, equilíbrio e coordenação motora. Dentro dessa perspectiva, tem sido estudada a pré-ativação de antagonistas, conceitualmente enquadrada como uma variável de ordem de execução dos exercícios. Um modelo de pré-ativação antagonista denominado supersérie é caracterizado pela realização de exercícios para músculos antagonistas antes dos agonistas, e parte do princípio de que a inibição neurológica dos músculos agonistas após a pré-ativação promova uma melhor ativação neural e favoreça o aumento da força. No entanto, um IR adequado que favoreça tais respostas ainda é desconhecido. O objetivo é verificar o efeito de diferentes intervalos de recuperação de um programa de exercício resistido com o modelo de pré-ativação antagonista dos músculos do joelho em supersérie. Trata-se de um estudo transversal no qual serão recrutados 20 sujeitos. O protocolo de avaliação será realizado no dinamômetro Biodex System 4. Os sujeitos serão posicionados na cadeira, com a possibilidade de um movimento livre e confortável de flexão e extensão do joelho. A extensão do joelho será definida como 0° e flexão a 90°, utilizando uma amplitude de movimento de 80°

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASILIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



Continuação do Parecer: 1.210.646

Objetivo da Pesquisa:

Conforme descrito pelos pesquisadores:

Objetivo Primário:

O objetivo geral deste estudo é verificar o efeito de diferentes intervalos de recuperação de um programa de exercício resistido com o modelo de pré -ativação antagonista dos músculos do Joelho em supersérie.

Objetivo Secundário:

Os objetivos específicos são: A) Avaliar e comparar o pico de torque e o tempo até atingir o pico de torque entre os diferentes intervalos de recuperação; B) Comparar a fadiga do trabalho muscular gerada entre os diferentes IR

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Descrito pelos pesquisadores:

Riscos:

ressalta-se que a presente metodologia apresenta risco mínimo à saúde dos participantes, fato este que será evidenciado no ato de convite aos sujeitos da pesquisa. De modo geral, os participantes estarão expostos a um cansaço eventual pela realização do exercício resistido. Os participantes serão esclarecidos sobre todos os cuidados, evidenciando-se o fato de que poderão solicitar, a qualquer momento, a saída do estudo.

Benefícios:

Em relação aos benefícios da pesquisa, espera-se evidenciar o intervalo de recuperação adequado para obtenção de melhores valores de torque e trabalho, que será de grande valia para a prescrição do exercício resistido.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Protocolo inicial de pesquisa aprovado em 11/09/2014, parecer N°. 787.870.

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde - Campus Darcy Ribeiro	
Bairro: Asa Norte	CEP: 70.910-900
UF: DF	Município: BRASILIA
Telefone: (61)3107-1947	E-mail: cepfsunb@gmail.com



FACULDADE DE CIÊNCIAS DA
SAÚDE DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA - CEP/FS-UNB



Continuação do Parecer: 1.210.646

O pesquisador responsável submete emenda a projeto, justificando que: "Nós tivemos alguns atrasos no início do ano, os quais fugiram da nossa governabilidade e afetaram o cronograma de coleta de dados. No entanto, a partir de março conseguimos iniciar as coletas e temos a previsão de finalizar entre agosto e setembro de 2015. No entanto, vislumbramos a oportunidade de incluir a análise do recrutamento muscular e fadiga muscular por meio da eletromiografia de superfície, nas coletas que ainda serão realizadas até agosto. Deste modo, estamos solicitando essa emenda, para incluir no projeto a eletromiografia de superfície. Tal inclusão será de suma importância para a compreensão dos impactos neuromusculares e fisiológicos dos intervalos de recuperação que estão sendo estudados no projeto. Para a emenda, não encontramos formulário específico para tal finalidade no site do CEP/FS/UnB. Deste modo, fiz a inclusão no sistema, do projeto de pesquisa com as emendas demarcadas em amarelo, para apreciação do CEP." Parecer consubstanciado de 13/05/2015 número 1.098.387 referente à pendências relativas a emenda.

O pesquisador responde as pendências da emenda em dois documentos. Uma carta de encaminhamento ao CEP e outra em que elenca as pendências e os documentos em que foram sanadas com textos demarcados em amarelo.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Documentos analisados para emissão do presente parecer:

"PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_503865_E1.pdf", postado em 23/07/2015; Carta emenda - projeto superserie.pdf", postado em 23/07/2015;

TCLE - Modelo de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - "TCLE_superserie COM EMENDA.doc", postado em 23/07/2015, com alterações destacadas em amarelo;

Projeto detalhado - "projeto_superserie_IR COM EMENDA.docx", postado em 23/04/2015, com alterações destacadas em amarelo;

Carta resposta a emenda - "Superserie.pdf", postado em 23/07/2015.

Recomendações:

Não se aplica.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Análise das respostas às pendências apontadas no parecer N°. 1.098.387:

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde - Campus Darcy Ribeiro	
Bairro: Asa Norte	CEP: 70.910-900
UF: DF	Município: BRASILIA
Telefone: (61)3107-1947	E-mail: cepfsunb@gmail.com



FACULDADE DE CIÊNCIAS DA
SAÚDE DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA - CEP/FS-UNB



Continuação do Parecer: 1.210.646

1. Embora tenham sido destacadas, no projeto detalhado, as modificações realizadas, solicita-se que seja enviada carta detalhando as modificações realizadas em relação ao texto inicial do projeto, para que haja uma melhor visualização das alterações. Consta carta de encaminhamento. PENDÊNCIA ATENDIDA.

2. Solicita-se que o projeto da Plataforma Brasil seja atualizado com os dados fornecidos no projeto detalhado. Dados fornecidos nas páginas do projeto 9,10,12 consta nas IBPB. PENDÊNCIA ATENDIDA

3. Solicita-se termo de ciência do local onde será realizada a eletromiografia. O pesquisador respondeu que será realizada a eletromiografia cinesiológica que é utilizada no próprio laboratório de pesquisa e conduzida pelo pesquisador responsável. PENDÊNCIA ATENDIDA.

4. Solicita-se adicionar os custos da utilização do equipamento para eletromiografia em planilha de orçamento. O pesquisador respondeu "Os custos serão de responsabilidade do pesquisador responsável pelo projeto, e caracterizados pelo uso de eletrodos adesivos e papel toalha para limpeza da pele." Financiamento próprio no valor de R\$ 1.250,00. Em relação ao equipamento o pesquisador respondeu:"[...] é utilizada no próprio laboratório de pesquisa e conduzida pelo pesquisador responsável, em concomitância ao processo de avaliação de força muscular. Tal método já é utilizado em outros projetos de diversos pesquisadores." O pesquisador é o gestor do laboratório. PENDÊNCIA ATENDIDA.

5. Solicita-se apresentação de nova versão do TCLE para que seja inserida a eletromiografia, juntamente com os desconfortos, riscos e benefícios de sua realização. Lembramos que o participante de pesquisa deverá ser reconsentido para a realização do novo exame.

O pesquisador inseriu o texto solicitado:

No tocante a eletromiografia:

"[...]e análise da atividade muscular por meio da eletromiografia de superfície [...]. "Concomitantemente, será realizada a mensuração da atividade eletromiográfica (que representa o estudo da ativação de músculos do seu corpo) durante o protocolo de avaliação da força muscular. PENDÊNCIA ATENDIDA

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASILIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



FACULDADE DE CIÊNCIAS DA
SAÚDE DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA - CEP/FS-UNB



Continuação do Parecer: 1.210.646

No tocante aos riscos:

"A análise da atividade eletromiográfica não é invasiva nem dolorosa, sendo realizada por meio de eletrodos colocados na pele por meio de adesivos dupla-face." Há uma possibilidade mínima de risco ou dano físico, caracterizada por um possível cansaço ou fadiga durante a realização dos exercícios. Nesse caso, se você se sentir cansado ou desconfortável, o teste será interrompido imediatamente como medida de controle do risco." PENDÊNCIA ATENDIDA.

No tocante aos benefícios:

"Os benefícios do presente projeto estão relacionados à determinação do melhor intervalo de recuperação durante a prática do exercício resistido. A compreensão desse intervalo poderá nortear o uso de prescrições adequadas de exercício e compreensão da atividade muscular e fadiga muscular durante a prática do exercício resistido" PENDÊNCIA ATENDIDA.

Protocolo de pesquisa em conformidade com a Res. CNS 466/2012 e complementares.

Considerações Finais a critério do CEP:

Em acordo com a Resolução 466/12 CNS, itens X.1.- 3.b. e XI.2.d, os pesquisadores responsáveis deverão apresentar relatórios parcial semestral e final do projeto de pesquisa, contados a partir da data de aprovação do protocolo de pesquisa.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Outros	Carta para encaminhamento Rodrigo.pdf	15/04/2014 09:30:55		Aceito
Outros	concordancia superserie.pdf	15/04/2014 15:23:17		Aceito
Folha de Rosto	folha de rosto superserie.pdf	15/04/2014 15:23:22		Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_317487.pdf	15/04/2014 15:24:45		Aceito
Outros	CV Rodrigo Luiz Carregaro.pdf	13/05/2014 17:42:53		Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_317487.pdf	13/05/2014 17:44:35		Aceito

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASÍLIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



Continuação do Parecer: 1.210.646

Outros	TERMO DE RESPONSABILIDADE E COMPROMISSO DO pesquisador.pdf	03/06/2014 06:52:10		Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_317487.pdf	03/06/2014 06:54:41		Aceito
Brochura Pesquisa	projeto_superserie_IR RESPOSTA A PENDENCIA.docx	02/07/2014 22:40:49		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto_superserie_IR RESPOSTA A PENDENCIA.docx	02/07/2014 22:41:05		Aceito
Outros	carta resposta as pendencias - SUPERSÉRIE.docx	02/07/2014 22:42:20		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_superserie RESPOSTA A PENDENCIA.doc	02/07/2014 22:42:50		Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_317487.pdf	02/07/2014 22:43:15		Aceito
Outros	projeto_superserie_IR COM EMENDA.docx	23/04/2015 10:12:34		Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_503865_E1.pdf	23/04/2015 10:18:14		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_superserie COM EMENDA.doc	23/07/2015 15:08:59		Aceito
Outros	Carta emenda - projeto superserie.pdf	23/07/2015 15:11:07		Aceito
Outros	carta resposta a emenda - Superserie.pdf	23/07/2015 15:11:29		Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_503865_E1.pdf	23/07/2015 15:12:53		Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BRASILIA, 01 de Setembro de 2015

Assinado por:
Marie Togashi
(Coordenador)

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde - Campus Darcy Ribeiro
Bairro: Asa Norte **CEP:** 70.910-900
UF: DF **Município:** BRASILIA
Telefone: (61)3107-1947 **E-mail:** cepfsunb@gmail.com

12.2. Apêndice II - Artigo publicado

Neuromuscular efficiency of the knee joint muscles in the early-phase of resistance training: effects of antagonist's muscles pre-activation

Euler Alves Cardoso^{1*}, Frederico Ribeiro Neto¹, Wagner Rodrigues Martins², Martim Bottaro¹, Rodrigo Luiz Carregaro²

ORIGINAL ARTICLE

ABSTRACT

It was our objective to compare the neuromuscular efficiency (NME) adaptations between resistance exercise methods (with and without pre-activation of the antagonist's muscles) after six-weeks training. This randomized controlled trial assigned forty-nine men (mean age 20.9 ± 2.2 years; height 1.80 ± 0.1 m; body mass 75.0 ± 8.2 kg) into two groups: 1) Reciprocal Training group (RT, concentric knee flexion immediately followed by concentric knee extension at $60^\circ \cdot s^{-1}$); and Conventional Training (CT, concentric knee extension exercise). Both training adopted three sets, 10 repetitions at $60^\circ \cdot s^{-1}$, 2 days/week for 6 weeks. NME of knee extension and flexion were assessed pre and post-training. The groups were similar at baseline, for all variables. We found significant effects on NME only for the rectus femoris muscle in the RT group (ES = 0.31; 95%CI [0.30-0.92]; $p < 0.01$). There were no significant differences at NME pre- and post-training in CT and Total Work did not differ between groups. Reciprocal training provided better neuromuscular efficiency, but effects were limited to the rectus femoris muscle. The small effect sizes suggest caution in the results.

Keywords: athletic performance, electromyography, muscle strength, strength training.

INTRODUCTION

Resistance training programs have long been recognized as one of the most useful intervention strategies in the context of rehabilitation (Kannus, 1994), for improving health-related outcomes (Garber et al., 2011) and sports performance (Brill, Macera, Davis, Blair, & Gordon, 2000). Moreover, there is high-quality evidence demonstrating positive strength training effects on balance (Costill, Wilmore, & Kenney, 2012), increased muscle strength (Deschenes et al., 2002; Harvey, Lin, Glinsky, & De Wolf, 2009) and functionality (Serra-Añó et al., 2012). In this context, previous studies (Beck et al., 2007; Coburn et al., 2006; Holtermann, Roeleveld, Vereijken, & Ettema, 2005) have shown that the adoption of short-term training generates acute effects on muscle strength which, consequently, represent an interesting alternative if the aim is to improve the muscle function in a short period of time. Likewise (Coburn et al.,

2006; Holtermann et al., 2005), early phase strength training showed improvements in the muscle strength and rate of force development (Brown & Whitehurst, 2003). An interesting strategy to potentiate the functional performance in the acute phases is the adoption of antagonist muscle's pre-activation (Cunha et al., 2013).

The adoption of the pre-activation of antagonist's muscles has been recognized as an interesting strategy to improve the muscle function and performance (Baker & Newton, 2005; Jeon, Trimble, Brunt, & Robinson, 2001). One exercise modality that uses the pre-activation of the antagonist's muscles is referred to as reciprocal training (RT) and consists of a pre-activation immediately prior to the agonist muscle contraction. Previous studies demonstrated larger increments of muscle work and force generation (Carregaro, Gentil, Brown, Pinto, & Bottaro, 2011; Robbins, Young, Behm, & Payne, 2010) influenced by pre-activation

Manuscript received at March 20th 2018; Accepted at December 10th 2018

¹ College of Physical Education, Universidade de Brasília, UnB, Brasília/DF, Brazil.

² School of Physical Therapy, Campus UnB Ceilândia, Universidade de Brasília, UnB, Brasília/DF, Brazil.

* Corresponding author: Email: prof.euleralves@gmail.com

exercises when compared to conditions without the pre-activation. Additional studies using surface electromyography (sEMG) during pre-activation of antagonist muscles also demonstrated neural responses after the resistance training, such as an increased EMG activity of the agonist muscle after the activation of the antagonists (Jeon et al., 2001; Maynard & Ebben, 2003; Robbins et al., 2010). It is worth mentioning that the EMG signal amplitude is related to motor units activation by neural firing rate and, consequently, could be associated with the values of maximum torque (David, Mora, & Perot, 2008; Hassani et al., 2006). For instance, Baker and Newton (2005) demonstrated increases of 4.7% of the capacity to generate power after bouts of eight repetitions using the pre-activation of upper limbs antagonist muscles. According to the authors, the results were explained by an increased firing rate of the agonist muscles, influenced by a neural stimulation of the prior antagonistic contraction.

Neuromuscular Efficiency (NME) is defined as the individual ability to generate force in relation to its muscle activation level, and improvements in NME are obtained when muscle contractions against high loads are sustained by a lower neural recruitment (Aragão et al., 2015; David et al., 2008; Deschenes et al., 2002). Thus, NME is an index that evaluates a muscle group functional status (David et al., 2008), and it is related to muscle responsiveness and neural excitability (Deschenes et al., 2002). Hence, this index is an important screening tool that can allow athletic trainers and health professionals to evaluate the muscle responsiveness and functional performance arising from specific sports training programs and/or specific rehabilitation processes (Aragão et al., 2015; Deschenes et al., 2002). For instance, Deschenes et al. (2002) adopted the NME to verify if strength reductions resulting from 14-day muscle immobilization occurred due to decreases in the neural input. Their results demonstrated a decrease in total work and EMG activity of the knee extensors and flexors, though with no changes in the NME. These findings suggested that decreases of muscle work and EMG were primarily due to neural effects, not to contractile

or morphological factors. These findings demonstrated that the NME could be more sensitive to the neural aspects and might be useful to the assessment of early-phase resistance training. Notwithstanding, despite the usefulness of this index, to the best of our knowledge there is a lack of studies addressing the NME across different modalities of resistance training exercises. Therefore, this study aimed to compare the NME adaptations between two resistance exercise methods (with and without pre-activation of the antagonist's muscles) after a six-week training program. Our hypothesis is that Reciprocal Training will lead to greater improvements in NME than Traditional Training, without pre-activation.

METHOD

This is a randomized controlled trial reported in accordance with the Consort Statement (Schulz, Altman, & Moher, 2010). The study flowchart is depicted in Figure 1. The participants underwent a resistance-training program two times a week for six weeks.

Participants

Forty-eight healthy young males were consecutively enrolled in the study (mean age 20.9 ± 2.2 years; height 1.80 ± 0.1 m; body mass 75.0 ± 8.2 kg). All participants were recruited through posters and verbal contacts in the University Campus. All volunteers were notified of the research procedures and were invited to participate by signing informed consent. The Institutional Research Ethics Committee approved the study (Protocol n. 112/12).

Participants were interviewed with a questionnaire containing personal and demographic information; and clinical history. The inclusion criteria were: 1) age between 18 to 30 years; 2) no physical training in the past six months prior to the study. Participants were excluded if presented any cardiorespiratory impairment, metabolic diseases, ligament ankle and/or knee injury, diseases or neurological signal and/or proprioceptive deficits.

Participants were randomly divided into two groups: Conventional Training – with no pre-activation (CT) and Reciprocal Training group -

with pre-activation (RT). For the randomization process, a table with random numbers was generated in the website "www.random.org". Sequentially sealed opaque envelopes were used, containing the intervention groups' name. A researcher, blinded to the purposes of the research, was responsible for this procedure.

Familiarization and evaluation procedure

Participants attended the laboratory on three different occasions. On the first visit, all participants performed a familiarization procedure, composed by two sets of five sub-maximum concentric isokinetic repetitions of knee flexion-extension with using the speed of $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ and an interval of 90 seconds between sets. On the second visit, and after an interval of at least 24 hours, the pre-training (baseline) assessment was performed. Participants performed the same protocol as the familiarization visit; except during the pre- and post-training evaluations, in which maximum effort was adopted, in two sets of five repetitions. For the pre-training assessment, the electromyographic activity of the vastus medialis, rectus femoris and biceps femoris was acquired. On the third visit (post-training), the assessment was performed with the same procedures of the previous evaluations (with a time lag of 72hs from the last training session). During testing and intervention, participants were instructed to position their arms against their chest. Participants were instructed to perform maximum strength throughout all range of motion. For all participants, visual feedback on the computer screen and verbal encouragement were given, in an attempt to reach the maximum effort level. The testing sessions were performed in the morning period, for all participants.

Isokinetic Dynamometry

For the present study, an isokinetic dynamometer was used (Biodex System 4, Biodex Medical, Shirley, NY). Calibration and positioning procedures followed the manufacturer's specifications. The hip position was standardized to 100° flexion. A range of motion of 80° was used (excursion from 90° flexion to 10° , using knee extension parameter as

0°) to prevent knee hyperextension. During testing, participants were asked to keep their arms crossed over their thoracic region. Verbal encouragement and visual feedback were provided to encourage participants to reach their maximal exertion level. The participants were stabilized in the equipment using restraints on their thighs, pelvis, and trunk to prevent unwanted movement. The same investigator performed all tests for all participants and was not blind to group allocation.

Surface Electromyography

Portable 4-channel surface electromyography (Miotec Biomedical Equipment LTDA, Brazil) was used. The equipment has a resolution of 14 bits, noise level <2 LBS and common mode rejection of 110 dB. The simple differential active electrodes (input impedance of 1010 ohms) have polyethylene foam with hypoallergenic medical adhesive, adherent solid gel to contact bipolar Ag/AgCl (silver/silver chloride) with a distance of 20 mm between poles.

Electrodes Placement was based on SENIAM guidelines (Hermens, Freriks, Disselhorst-Klug, & Rau, 2000). The reference electrode was connected to the bony prominence of the seventh cervical vertebra (C7) to measure the EMG signal. A specific seat was positioned on dynamometer chair so that the electrodes would not remain in contact with the seat surface to measure the EMG signal from biceps femoris. Electrodes were positioned over the muscle belly of the vastus medialis, rectus femoris, and biceps femoris, in parallel to the muscle fibers. Before placing electrodes, the area was shaved and lightly abraded with 70% alcohol.

Signal Processing

Total work and peak torque were processed by the Biodex Advantage software and used to calculate the NME. The EMG signal amplitude was calculated using the RMS (root mean square) during the repetition in which the peak torque occurred. Electromyography analysis was performed in the Miograph Software (Miotec-Biomedical equipment®). The signal was filtered with a band-pass frequency of 20 Hz and 450 Hz (4th order Butterworth filter). The EMG and

dynamometer signals were synchronized in time. Neuromuscular Efficiency was calculated according to the following equation (Deschenes et al., 2002):

$$NME = \frac{PT}{RMS}$$

In which PT is the Peak torque in N.m and RMS is the Root mean square in μV .

Intervention protocol

Participants underwent an exercise program twice a week over six weeks (at a minimum interval of at least 48 hours between each session). Training sessions consisted of three sets of ten maximal concentric isokinetic repetitions at $60^\circ.s^{-1}$ with 1-minute rest interval (Parcell, Sawyer, Tricoli, & Chinevere, 2002). One group performed the reciprocal exercise sessions (RT), characterized by agonist and antagonist knee extensors and flexors muscles contractions at $60^\circ.s^{-1}$ (knee flexion immediately followed by knee extension, at each repetition). The Conventional Training (CT) performed sessions characterized by a concentric knee extension at $60^\circ.s^{-1}$, while the knee flexion was performed

passively (without pre-activation of the antagonist's muscles). For both groups, there was a warm-up on the isokinetic dynamometer characterized by two sets of five concentric isokinetic repetitions (50% of the maximum strength of knee flexion-extension at $60^\circ.s^{-1}$, with 45 seconds interval between sets). The training was performed bilaterally, however, as there were no significant differences between the dominant vs non-dominant limb before and after the resistance training for both groups, we chose to present the data of the dominant limb only (leg used to kick a ball). The same researcher trained and evaluated all participants. During the study period, participants were advised not to do any additional resistance exercises. The training sessions were performed in the morning or afternoon period, according the participant's availability. However, the weekly sessions remained at the same period (2 morning sessions or 2 afternoon sessions per week) from the beginning until the end of the training program.

Statistical analysis

The sample size calculation was based on a pilot study. We used the G*Power software (version 3.1.9). The statistical power was established at 80% ($1-\beta$), α value of 5%, and an effect size of 0.25, considering differences on neuromotor variables between groups (RT and CT). The calculation demonstrated a required sample size of 34 participants.

Data normality assumptions were confirmed by the Shapiro-Wilk test. The independent variable was the training group (RT and CT), and the dependent variables were: NME, total work (in Joules) and RMS (root mean square). A mixed model ANOVA for repeated measures (group [RT and CT] x time [pre and post]) was adopted to verify differences between groups, with the Bonferroni *post hoc* test. The effect size was calculated, in order to determine the magnitude of the intervention, based on the Cohen's *d* and classified according to Rhea (2004) as: trivial (<0.35); small (>0.35 and <0.80); moderate (>0.81 and <1.50) and large (>1.50). The confidence interval of 95% was determined, and the statistical significance was set at 5% ($P < 0.05$, two-tailed).

RESULTS

Throughout the study, ten participants dropped out ($n=3$ due to injury in daily activities; $n=7$ not able to participate in all assessments). Thus, the final sample was composed by 38 participants (17 participants allocated in the CT group and 21 participants in the RT group) (Figure 1).

There were no significant differences between groups for age, height, and body mass index (Table 1). Also, groups presented no significant differences in pre-training assessment for all variables (Table 2).

For the RT group, the NME of the rectus femoris presented a significant increase after six weeks of training, with a small effect size ($ES = 0.31$; 95%CI [-0.30; 0.92]; $F = 4,92$ $p < 0.05$). However, there were no significant differences in the NME of the vastus medialis and biceps femoris muscles ($ES = -0.17$, 95% CI [0.78; 0.44]; $ES = 0.30$, 95%CI [0.31-0.91], respectively, $p > 0.05$).

28 | EA Cardoso, F Ribeiro Neto, WR Martins, M Bottaro, RL Carregaro

The CT presented no significant differences after the training program for neither of the muscles groups, and the effect sizes were trivial for the rectus femoris (ES = 0.16; 95%CI [0.83; 0.52]; $p=0.08$), vastus medialis (ES = 0.30; 95%CI [0.38; 0.98]; $p=0.10$) and biceps femoris (ES = 0.37; 95%CI [1.05; 0.37]; $p=0.13$) (Table 2).

No significant differences were found for the Total Work (between and within groups), considering the knee extensor and knee flexor muscles (Table 2).

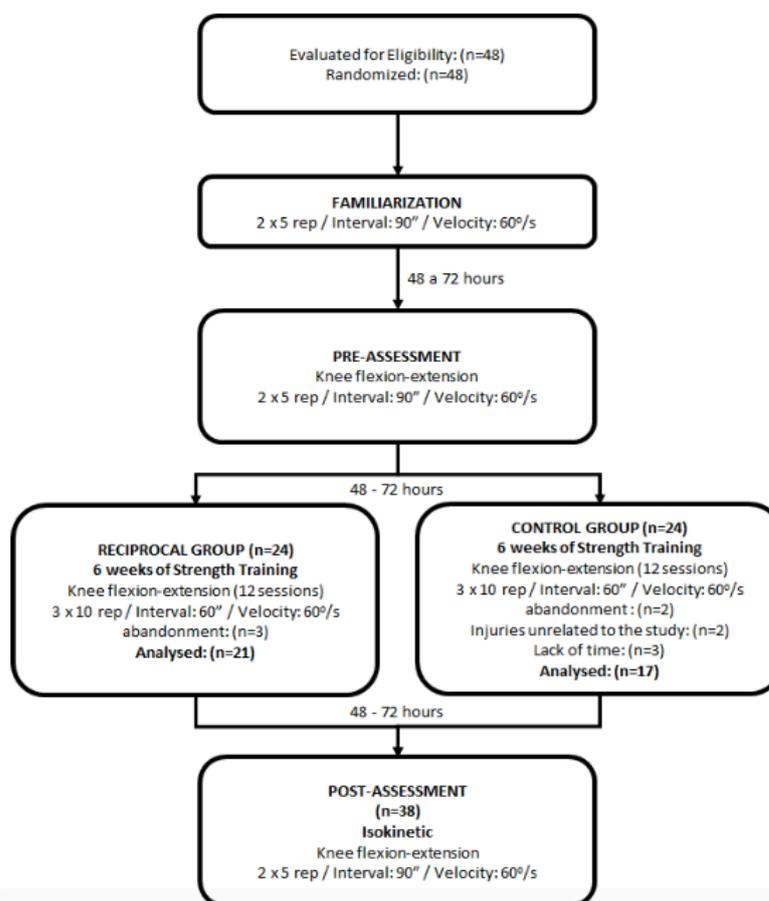


Figure 1. Study flow chart.

Table 1
Participants baseline characteristics divided by training groups

	RT (n = 21)	CT (n = 17)	p-value
Age (years)	20.1 (1.9)	20.2 (2.3)	0.6
Height (m)	1.7 (0.1)	1.8 (0.1)	0.7
Body mass (kg)	72.2 (10.2)	71.9 (8.0)	0.3
BMI (kg/m ²)	23.5 (3.3)	22.9 (2.6)	0.5

Note. RT: reciprocal training; CT: conventional training; BMI: body mass index.

Table 2

Values of EMG activity, total work and neuromuscular efficiency (NME) for the reciprocal training (RT) and conventional training (CT) groups. Data are present as mean (standard deviation) and confidence interval of 95% (CI95%)

	PRE-TRAINING		POST-TRAINING		RT vs CT ES (CI95%)
	RT	CT	RT	CT	
RMS (μ V)					
Rectus Femoris	402.8 (171.3)	381.0 (123.1)	390.1 (206.7)	386.9 (101.1)	0.02 (-0.62 – 0.66)
Vastus Medialis	506.8 (365.4)	564.2 (215.4)	513.7 (270.5)	432.3 (231.8)	0.32 (-0.33 – 0.96)
Biceps Femoris	37.5 (11.6)	45.9 (19.2)	35.9 (14.2)	47.8 (22.3)	-0.65 (-1.29 – 0.02)
Total Work (J)					
Extensors Muscles	892.4 (199.7)	944.1 (223.9)	1062.5 (312.7)	1050.4 (194.7)	0.05 (-0.60 – 0.68)
Flexors Muscles	485.0 (146.7)	552.1 (172.2)	532.5 (222.1)	523.4 (58.0)	0.05 (-0.59 – 0.69)
NME (N.m/ μ V)					
Rectus Femoris	0.677 (0.361)	0.774 (0.312)	0.804 (0.430)†	0.731 (0.234)	0.20 (-0.44 – 0.84)
Vastus Medialis	0.707 (0.556)	0.617 (0.446)	0.630 (0.315)	0.743 (0.393)	-0.32 (-0.96 – 0.33)
Biceps Femoris	3.389 (1.540)	3.362 (2.089)	3.897 (1.845)	2.773 (0.829)	0.82 (0.14 – 1.46)

Note. †Significant difference ($p < 0.05$) compared with pre-training. RMS: root mean square; ES: effect size.

DISCUSSION

The present study hypothesized that the Reciprocal Training would lead to greater improvements in NME than conventional training without pre-activation. The comparison between the modalities showed that the exercise performed with reciprocal contractions presented a higher NME for the rectus femoris muscle after six-weeks of training, though with small effect size. The total work did not differ between groups or after six weeks of training.

The present findings demonstrated that the rectus femoris presented a higher NME after six-weeks of training. Hence, it could be assumed that smaller neural recruitment was necessary to achieve an equal or higher amount of muscle strength. These results may be explained by the influence of varied resistance and concentric antagonist speed contractions on subsequent concentric agonist efforts (Burke, Pelham, & Holt, 1999), in which the contraction of the flexor muscles activates Golgi tendon organs, depolarizing Ib axon and firing nerve impulses that are propagated to the spinal cord (Purves et al., 2001). The consequence of this mechanism could be a strength reduction of the flexor muscles associated with the extensor muscle spindles depolarization, thus leading to a more efficient contraction of the rectus femoris. Although the classical findings of Moritani and deVries (1979) showed a prevalence of neural factors responsible for strength gains up to four weeks of training, recent studies (Bickel et al., 2005; Seynnes, de Boer, & Narici, 2007) have reported earlier involvements of hypertrophic

components. Accordingly, muscle stimuli arising from the training with duration of six weeks may have provided a morphological adaptation in the skeletal muscle (Bickel et al., 2005; Seynnes et al., 2007). The authors assumed that an increased cross-sectional area, the increment of muscle fibers contractile capacity and molecular adaptations could have led to neuromuscular performance improvement. Hence, our rectus femoris NME findings may also be explained by a hypertrophy mechanism, which can be related to an increased strength gain associated with a stabilization of the electromyography signal at the post-training. The study of Seynnes et al. (2007) demonstrated that physically active male participants submitted to leg extension exercises during 20 days of training, significantly increased their rectus femoris cross-sectional area, concomitant to small or no changes in the electromyographic activity, and could also corroborate our NME findings. Additionally, it is possible to assume that the performance of the rectus femoris muscle was augmented due to post activation potentiation enhancements and by increases in the rate of force development, leading to a better contractile capacity (Sale, 2002). The use of a pre-activation strategy (knee flexors movements prior to the knee extension) may have been able to induce this post activation potentiation, corroborating the study of Batista et al. (2007), in which intermittent contractions were able to improve the neuromuscular performance during knee extension exercises.

A surprising finding was that the biceps femoris NME did not present a significant

improvement for the RT group after six weeks of training. Apparently, the flexor muscles need a higher training volume or greater intervention period compared to the extensor muscles. However, no results were found in the literature to support this hypothesis, and further studies are necessary to elucidate the influence of different training volume on flexor muscles early phase-adaptations. Even though our study did not measure morphological variables, the mechanisms underlying our findings seem to be different for different muscle groups. EMG augmentation is attributed to synchronization of motor units (De Luca, 1984; Milner-Brown, Mellenthin, & Miller, 1986) and conduction velocity increases (De Luca, 1984). For the rectus femoris, it is possible to assume that hypertrophy and cross-bridges increases were more prevalent compared to neural adaptations (Moritani & deVries, 1979), as there was an increased NME. It is suggested that a specific assessment of cross-sectional muscle area could contribute to better comprehension and are warranted in future research. Moreover, the NME of the flexor muscles did not change compared to the pre-training, though it was higher in RT compared to the CT at the post-training. Thus, it is assumed that the NME was reduced in the CT group by a probable increase of the muscle fibers recruitment despite an equal muscle strength production, leading to decreased muscle efficiency at the post-training. Also, the characteristic of the exercise program adopted in the present study (three sets of ten repetitions), may have been insufficient to generate adequate strength gains. Accordingly, Robbins et al. (2010) compared three groups with different training volumes of lower limbs exercises after six weeks. Their findings demonstrated that the group with eight sets had a significantly greater strength gain compared to groups that adopted one and four sets. Also, the group with four sets was not significantly different from the one set group. Thus, it is hypothesized that if we had adopted a biceps femoris training periodization, perhaps this would enhance the training volume and would have led to significant results of the NME for the RT group. In addition, we

recommend that future studies investigate the effects of the reciprocal training on the knee flexors muscles adaptations and compare the effects of this training between knee's flexor and extensors muscles.

Neuromuscular efficiency is an interesting muscle responsiveness measure toward neural excitation (Deschenes et al., 2002). Typically, NME is used in isometric contractions (Arabadzhev, Dimitrov, Dimitrova, & Dimitrov, 2010; Aragão et al., 2015; Milner-Brown et al., 1986; Schimidt, Machado, Vaz, & Carpes, 2014) for muscle fatigue evaluation (Remaud, Cornu, & Guevel, 2005) for different cross-sectional studies outcomes (David et al., 2008; Schimidt et al., 2014) or even to compare isokinetic exercises and dynamic protocols (Remaud et al., 2005). However, we did not find in the literature studies that have used NME to compare training methods in an experimental design. Thus, it is suggested that future resistance training studies address the NME as a dependent variable.

Limitations

Our study presented some limitations. Firstly, the lack of a proper periodization (characterized by an increase in training volume throughout the training) might have influenced our findings. Secondly, the outcome assessor was not blind to group allocation; therefore, estimates of intervention effects might have been influenced by some bias (Chess & Gagnier, 2013).

Practical applications

Our findings demonstrated that if the aim is to improve the neuromuscular efficiency of the knee muscles during a short-term training period, the adoption of reciprocal contractions could be recommended.

CONCLUSION

Our study demonstrated that the use of reciprocal muscle contractions training presented a better rectus femoris neuromuscular efficiency after six weeks of resistance training of young and healthy men. However, we recommended caution considering the small effect sizes.

Acknowledgments:

Nothing to declare.

Conflict of interests:

Nothing to declare.

Funding:

Nothing to declare.

REFERENCES

- Arabadzhev, T. I., Dimitrov, V. G., Dimitrova, N. A., & Dimitrov, G. V. (2010). Interpretation of EMG integral or RMS and estimates of "neuromuscular efficiency" can be misleading in fatiguing contraction. *Journal of electromyography and kinesiology*, 20(2), 223-232. doi:10.1016/j.jelekin.2009.01.008
- Aragão, F. A., Schäfer, G. S., Albuquerque, C. E. d., Vituri, R. F., Mícolis de Azevedo, F., & Bertolini, G. R. F. (2015). Eficiência neuromuscular dos músculos vasto lateral e bíceps femoral em indivíduos com lesão de ligamento cruzado anterior. *Revista Brasileira de Ortopedia*, 50(2), 180-185. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rbo.2014.03.004>
- Baker, D., & Newton, R. U. (2005). Acute effect on power output of alternating an agonist and antagonist muscle exercise during complex training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 202-205. doi:10.1519/1533-4287(2005)19<202:Aeopoo>2.0.Co;2
- Batista, M. A., Ugrinowitsch, C., Roschel, H., Lotufo, R., Ricard, M. D., & Tricoli, V. A. (2007). Intermittent exercise as a conditioning activity to induce postactivation potentiation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 837-840. doi:10.1519/r-20586.1
- Beck, T. W., Housh, T. J., Johnson, G. O., Weir, J. P., Cramer, J. T., Coburn, J. W., . . . Mielke, M. (2007). Effects of two days of isokinetic training on strength and electromyographic amplitude in the agonist and antagonist muscles. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 757-762. doi:10.1519/r-20536.1
- Bickel, C. S., Slade, J., Mahoney, E., Haddad, F., Dudley, G. A., & Adams, G. R. (2005). Time course of molecular responses of human skeletal muscle to acute bouts of resistance exercise. *Journal of applied physiology*, 98(2), 482-488. doi:10.1152/jappphysiol.00895.2004
- Brill, P., Macera, C., Davis, D., Blair, S., & Gordon, N. (2000). Muscular strength and physical function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 412-416.
- Brown, L., & Whitehurst, M. (2003). The effect of short-term isokinetic training on force and rate of velocity development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 88-94.
- Burke, D. G., Pelham, T. W., & Holt, L. E. (1999). The influence of varied resistance and speed of concentric antagonistic contractions on subsequent concentric agonistic efforts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(3), 193-197.
- Carregaro, R. L., Gentil, P., Brown, L. E., Pinto, R. S., & Bottaro, M. (2011). Effects of antagonist pre-load on knee extensor isokinetic muscle performance. *Journal of sports sciences*, 29(3), 271-278. doi:10.1080/02640414.2010.529455
- Chess, L. E., & Gagnier, J. (2013). Risk of bias of randomized controlled trials published in orthopaedic journals. *BMC Medical Research Methodology*, 13, 76. doi:10.1186/1471-2288-13-76
- Coburn, J. W., Housh, T. J., Malek, M. H., Weir, J. P., Cramer, J. T., Beck, T. W., & Johnson, G. O. (2006). Neuromuscular responses to three days of velocity-specific isokinetic training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 892-898. doi:10.1519/r-18745.1
- Costill, D., Wilmore, D., & Kenney, W. (2012). *Physiology of sport and exercise* (6th ed.): Human Kinetics.
- Cunha, R., Carregaro, R. L., Martorelli, A., Vieira, A., Oliveira, A. B., & Bottaro, M. (2013). Effects of short-term isokinetic training with reciprocal knee extensors agonist and antagonist muscle actions: a controlled and randomized trial. *Brazilian Journal of physical therapy*, 17(2), 137-145. doi:10.1590/s1413-35552012005000077
- David, P., Mora, I., & Perot, C. (2008). Neuromuscular efficiency of the rectus abdominis differs with gender and sport practice. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(6), 1855-1861. doi:10.1519/JSC.0b013e31817bd529
- De Luca, C. J. (1984). Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in humans. *Critical reviews in biomedical engineering*, 11(4), 251-279.
- Deschenes, M., Giles, J., McCoy, R., Volek, J., Gomez, A., & Kraemer, W. (2002). Neural factors account for strength decrements observed after short-term muscle unloading. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 282, R578-R583.
- Garber, C., Blissmer, B., Deschenes, M., Franklin, B., Lamonte, M., Lee, I., . . . Swain, D. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(1), 334-1359.
- Harvey, L., Lin, C., Glinsky, J. V., & De Wolf, A. (2009). The effectiveness of physical interventions for people with spinal cord injuries: A systematic review. *Spinal Cord*, 47, 184-195.
- Hassani, A., Patikas, D., Bassa, E., Hatzikotoulas, K., Kellis, E., & Kotzamanidis, C. (2006). Agonist and antagonist muscle activation during maximal

- and submaximal isokinetic fatigue tests of the knee extensors. *Journal of electromyography and kinesiology*, 16(6), 661-668. doi:10.1016/j.jelekin.2005.11.006
- Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of electromyography and kinesiology*, 10(5), 361-374.
- Holtermann, A., Roeleveld, K., Vereijken, B., & Ettema, G. (2005). Changes in agonist EMG activation level during MVC cannot explain early strength improvement. *European Journal of Applied Physiology*, 94, 593-601.
- Jeon, H. S., Trimble, M. H., Brunt, D., & Robinson, M. E. (2001). Facilitation of quadriceps activation following a concentrically controlled knee flexion movement: the influence of transition rate. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 31(3), 122-129. doi:10.2519/jospt.2001.31.3.122
- Kannus, P. (1994). Isokinetic Evaluation of Muscular Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 15, S11-S18.
- Maynard, J., & Ebben, W. P. (2003). The effects of antagonist pre-fatigue on agonist torque and electromyography. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(3), 469-474.
- Milner-Brown, H. S., Mellenthin, M., & Miller, R. G. (1986). Quantifying human muscle strength, endurance and fatigue. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 67(8), 530-535.
- Moritani, T., & deVries, H. A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American journal of physical medicine*, 58(3), 115-130.
- Parcell, A. C., Sawyer, R. D., Tricoli, V. A., & Chinevere, T. D. (2002). Minimum rest period for strength recovery during a common isokinetic testing protocol. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(6), 1018-1022.
- Purves, D., Augustine, G., Itzpatrick, F., Hall, W., LaMantia, A., McNamara, J., & Williams, S. (2001). *Neuroscience* (4th ed.). Sunderland (MA): Sinauer Associates.
- Remaud, A., Cornu, C., & Guevel, A. (2005). A methodologic approach for the comparison between dynamic contractions: Influences on the neuromuscular system. *Journal of Athletic Training*, 40(4), 281-287.
- Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 918-920. doi:10.1519/14403.1
- Robbins, D. W., Young, W. B., Behm, D. G., & Payne, W. R. (2010). The effect of a complex agonist and antagonist resistance training protocol on volume load, power output, electromyographic responses, and efficiency. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(7), 1782-1789. doi:10.1519/JSC.0b013e3181dc3a53
- Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: role in human performance. *Exerc Sport Sci Rev*, 30(3), 138-143.
- Schmidt, H. L., Machado, Á. S., Vaz, M. A., & Carpes, F. P. (2014). Isometric muscle force, rate of force development and knee extensor neuromuscular efficiency asymmetries at different age groups. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 16, 307-315.
- Schulz, K. F., Altman, D. G., & Moher, D. (2010). CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ*, 340, c332. doi:10.1136/bmj.c332
- Serra-Añó, P., Pellicer-Chenoll, M., García-Massó, X., Morales, J., Giner-Pascual, M., & González, L. (2012). Effects of resistance training on strength, pain and shoulder functionality in paraplegics. *Spinal Cord*, 50, 827-831.
- Seynnes, O. R., de Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of applied physiology*, 102(1), 368-373. doi:10.1152/jappphysiol.00789.2006

