

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

RODRIGO LUIZ CARREGARO

**EFEITOS AGUDOS DE DIFERENTES MANIPULAÇÕES DE PRÉ-
FADIGA DOS MÚSCULOS ANTAGONISTAS NAS RESPOSTAS
NEUROMUSCULARES DOS AGONISTAS**

Brasília/DF
2011

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

RODRIGO LUIZ CARREGARO

**EFEITOS AGUDOS DE DIFERENTES MANIPULAÇÕES DE PRÉ-FADIGA
DOS MÚSCULOS ANTAGONISTAS NAS RESPOSTAS
NEUROMUSCULARES DOS AGONISTAS**

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

Orientador: Prof. Martim Francisco Bottaro Marques

Apoio financeiro: FAPDF – processo número n°. 2009/00212-2.

Brasília/DF
2011

RODRIGO LUIZ CARREGARO

**EFEITOS AGUDOS DE DIFERENTES MANIPULAÇÕES DE PRÉ-FADIGA DOS
MÚSCULOS ANTAGONISTAS NAS RESPOSTAS NEUROMUSCULARES DOS
AGONISTAS**

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

Aprovado em 02 de setembro de 2011

BANCA EXAMINADORA

Martim Francisco Bottaro Marques (Presidente)
Universidade de Brasília (UnB)

Ricardo Jacó de Oliveira
Universidade de Brasília (UnB)

Gerson Cipriano Júnior
Universidade de Brasília (UnB)

Paulo Roberto Viana Gentil
Departamento de Polícia Federal

Ana Beatriz de Oliveira
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Ricardo Moreno Lima (Suplente)
Universidade de Brasília (UnB)

Dedico este trabalho às égides da minha vida:

Minha família

“Não sei se a vida é curta ou longa para nós, mas sei que nada do que vivemos tem sentido, se não tocarmos o coração das pessoas.

Muitas vezes basta ser: colo que acolhe, braço que envolve, palavra que conforta, silêncio que respeita, alegria que contagia, lágrima que corre, olhar que acaricia, desejo que sacia, amor que promove.

E isso não é coisa de outro mundo, é o que dá sentido à vida. É o que faz com que ela não seja nem curta, nem longa demais, mas que seja intensa, verdadeira, pura enquanto durar”.

Cora Coralina

Minha esposa:

“(...) Você é assim

Um sonho pra mim

E quando eu não te vejo

Penso em você

Desde o amanhecer

Até quando me deito

Eu gosto de você

Eu gosto de ficar com você

Meu riso é tão feliz contigo

O meu melhor amigo

É o meu amor”

Arnaldo Antunes, Carlinhos Brown & Marisa Monte

Agradecimento especial

O contexto deste agradecimento é exaltado pelo fato do título de doutor ter um significado muito especial, ao representar um marco na minha vida...

Agradeço ao Prof. Martim a confiança depositada desde outubro de 2008, quando iniciei minhas atividades no Laboratório de Treinamento de Força. Desde então, fico grato por ter compartilhado este período com uma pessoa extremamente competente, que me instigou a buscar padrões de excelência tanto na pesquisa quanto na minha prática diária, com coerência e seriedade.

Experiências como estas, de orientação e amizade, devem ser valorizadas, pois servem de modelo para nossas ações enquanto profissionais da área da saúde e do ensino superior.

Muito Obrigado!!!

Agradecimentos

Aos “feras” do Laboratório de Treinamento de Força (FEF/UnB): Rafilks (ou Rafael), Macalé (também conhecido como André), Saulo e Diego. Meu muito obrigado pela grande ajuda nas coletas, discussões, erros e acertos inerentes a todo processo de amadurecimento! Agradeço especialmente ao Rafilks, companheiro de estudo e coleta: a presença deste “fera” foi fundamental para a realização deste trabalho;

Ao Prof. Carlos Gomes de Oliveira, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (EEFD), pela disponibilidade em ajudar nas análises do índice de fadiga muscular;

Um agradecimento especial à Bia, amiga dos tempos de mestrado em São Carlos/SP, pela disposição e empenho na elaboração da primeira rotina de análise dos dados no Matlab;

À Alba, da secretaria do Programa de Pós-Graduação em Educação Física da FEF/UnB;

Às meninas da secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde (PGCS), sempre solícitas;

Aos voluntários do estudo, peças-chave no desenvolvimento desta pesquisa;

À FAPDF (Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal) pelo suporte financeiro para a aquisição dos eletromiógrafos utilizados no estudo.

Ostra feliz não faz pérola

(...) Pois havia num fundo de mar uma colônia de ostras, muitas ostras. Eram ostras felizes. Sabia-se que eram ostras felizes porque dentro de suas conchas saía uma delicada melodia, música aquática, como se fosse um canto gregoriano, todas cantando... Com uma exceção: de uma ostra solitária que fazia um solo solitário. Diferente da alegre música aquática, ela cantava um canto muito triste. As ostras felizes se riam dela e diziam: “Ela não sai da sua depressão...”. Não era depressão. Era dor. Pois um grão de areia havia entrado dentro da sua carne e doía... Mas era possível livra-se da dor. O seu corpo sabia que, para se livrar da dor que o grão de areia lhe provocava, em virtude de sua aspereza, arestas e pontas, bastava envolvê-lo com uma substância lisa, brilhante e redonda (...). Um dia, passou por ali um pescador com o seu barco. Lançou a rede e toda a colônia de ostras, inclusive a sofredora, foi pescada. Deliciando-se com as ostras, de repente seus dentes bateram num objeto duro que estava dentro de uma ostra. Ele o tomou nos dedos e sorriu de felicidade: era uma pérola. Apenas a ostra sofredora fizera uma pérola. Ele a tomou e deu-a de presente para a sua esposa.

A ostra, para fazer uma pérola, precisa ter dentro de si um grão de areia que a faça sofrer. Sofrendo, a ostra diz para si mesma: “Preciso envolver essa areia pontuda que me machuca com uma esfera lisa que lhe tire as pontas...”.

Ostras felizes não fazem pérolas... Pessoas felizes não sentem a necessidade de criar. O ato criador, seja na ciência ou na arte, surge sempre de uma dor. Não é preciso que seja uma dor doída... Por vezes a dor aparece como aquela coceira que tem o nome de curiosidade...

Rubem Alves

Resumo

Objetivos. Avaliar os efeitos agudos de três protocolos de pré-ativação dos músculos antagonistas (flexores do joelho) no desempenho neuromuscular do músculo agonista, durante a realização do exercício isocinético concêntrico de extensão do joelho realizado com séries múltiplas. **Materiais e Métodos.** A amostra foi composta por 24 indivíduos saudáveis do gênero masculino, com idade compreendida entre 18 e 35 anos. Os voluntários compareceram em 4 momentos distintos, com um intervalo de no mínimo 72hs entre cada momento, nos quais foram submetidos a 3 protocolos de exercício resistido, com 4 séries de 10 repetições a $60^{\circ}.s^{-1}$ e intervalo de 1 minuto entre cada série: 1) Contração Recíproca (CR): exercício isocinético concêntrico recíproco de antagonistas/agonistas (1 repetição de flexão do joelho [FJ] imediatamente seguido por 1 repetição de extensão do joelho [EJ]), 2) Super Série (SS): exercício concêntrico alternado dos antagonistas/agonistas (10 repetições de FJ seguida por 10 de EJ) e 3) Tradicional (TRAD): 4 séries de FJ seguidas pelas 4 séries de EJ. Os protocolos foram realizados em um dinamômetro isocinético e utilizou-se um eletromiógrafo portátil para monitorar os músculos vasto medial (VM) e bíceps femoral (BF). As variáveis analisadas foram o torque, trabalho, tempo de duração da fase isocinética (TFI), taxa de desenvolvimento de aceleração (TDA), ativação do VM (RMS) e co-ativação do BF, índice de fadiga muscular (FI_{nsm5}) e concentração sanguínea de lactato (LAC, coletada em 4 momentos: em repouso; imediatamente após o término do exercício; 3 minutos e 5 minutos decorridos do final da execução de cada protocolo de treinamento). Utilizou-se a ANOVA para medidas repetidas com teste *post-hoc* de Tukey para verificar a diferença entre os 3 protocolos e interações entre as variáveis. **Resultados.** Não houve diferença significativa entre protocolos para o torque e TDA ($P>0,05$). Em relação ao trabalho, foi encontrada uma diferença significativa entre o CR/TRAD, na 4ª série ($P<0,05$). Para o TFI, não foram encontradas diferenças entre protocolos ($P>0,05$), entretanto, os achados da análise intra-protocolos demonstraram que o CR conseguiu manter o TFI ao longo do exercício, ao contrário do SS e TRAD, que apresentaram maiores quedas. Não houve diferenças no RMS do VM e co-ativação do BF entre protocolos, entretanto, a ativação muscular do VM apresentou aumentos ao longo do exercício, para todos os protocolos ($P<0,05$). Tanto a FI_{nsm5} quanto a LAC foram significativamente maiores no protocolo SS em comparação ao TRAD e CR ($P<0,05$). **Conclusão.** As três diferentes modalidades de pré-ativação dos músculos antagonistas proporcionam taxas similares de geração de força extensora do joelho. Entretanto, os achados apontam para uma maior eficiência da modalidade CR, considerando a maior capacidade de trabalho e um melhor aproveitamento da resistência imposta, como indicado pelo maior TFI. Por outro lado, a realização de exercícios na modalidade da supersérie parecer ser menos eficiente, ao impor maiores níveis de fadiga muscular e um maior estresse metabólico.

Descritores: Exercício resistido, isocinético, força muscular, eletromiografia.

Abstract

Objectives. To evaluate the acute effects of three antagonist muscles (knee flexors) pre-activation protocols in the neuromuscular performance of the agonist muscle, during knee extension concentric isokinetic exercise performed with multiple sets. **Materials and Methods.** The sample consisted of 24 healthy male subjects, aged between 18 and 35. Volunteers attended on four separate moments, with an interval of at least 72 hours between each moment, in which performed three resistance exercise protocols, with 4 sets of 10 repetitions at $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ and 1 minute between each set: 1) Reciprocal Contraction (RC): isokinetic concentric exercise of antagonists/agonists in a reciprocal manner (a repetition of knee flexion [KF] immediately followed by a repetition of knee extension [KE]), 2) Superset (SS): concentric exercise of antagonists/agonists in an alternate manner (10 repetitions of KF followed by 10 KE) and 3) Traditional (TRAD): 4 KF series followed by four sets of KE. Protocols were performed on an isokinetic dynamometer, and a portable electromyography was used to monitor the vastus medialis (VM) and biceps femoris (BF). Variables were: torque, work, load range (LR), rate of acceleration development (RAD), activation of the VM (RMS) and BF co-activation, fatigue index (FI_{nsm5}) and blood lactate concentration (BLC, collected in four occasions: at rest, immediately after exercise, 3 minutes and 5 minutes after the final completion of each training protocol). A repeated measures ANOVA with Tukey post-hoc test was used to detect differences among the three protocols and interactions between variables. **Results.** There was no significant difference between protocols for torque and RAD ($P>0.05$). In relation to work, a significant difference was found between RC/TRAD, at the 4th set ($P<0.05$). For LR, no differences were found between protocols ($P>0.05$), however, findings of intra-protocol analysis showed that CR was able to maintain the LR during the exercise, unlike SS and TRAD, which had a higher decay. There were no differences in the RMS of the VM and BF co-activation between protocols, however, activation of the VM muscle showed increases over the exercise, for all protocols ($P<0.05$). Both FI_{nsm5} and BLC were significantly higher in SS compared to the TRAD and CR ($P<0.05$). **Conclusion.** The three different forms of antagonist muscles pre-activation order provided similar rates of knee extensor torque. However, findings points out to a greater efficiency of the RC mode, considering the greater work capacity and a better use of the imposed resistance, as indicated by higher LR values. On the other hand, performance of exercises in a superset mode seems to be less efficient, considering the higher levels of muscle fatigue and a high metabolic stress.

Key-words: resistance exercise, isokinetics, muscle strength, electromyography

Lista de Figuras

- Figura 1.** Ilustração que representa o desenho do estudo. A ordem dos protocolos foi aleatorizada para cada sujeito.....30
- Figura 2.** Ilustração do posicionamento dos eletrodos da eletromiografia (indicado pela marca X), com base no método da SENIAM. No lado esquerdo o músculo vasto medial e, à direita, o bíceps femoral.....33
- Figura 3.** Ilustração da colocação dos eletrodos nos músculos vasto medial (A) e bíceps femoral (B), no presente projeto.....34
- Figura 4.** Ilustração do banco confeccionado para o projeto. Acima, visão superior do banco e, abaixo, demonstração do posicionamento do voluntário, com o eletrodo no músculo BF.....36
- Figura 5.** Apresentação de uma série de exercício, na qual é ilustrado o procedimento de seleção da fase isocinética.....44
- Figura 6.** Torque (em N.m) gerado durante a realização dos protocolos de exercício (Os números de 1 a 4 indicam as respectivas séries).....47
- Figura 7.** Trabalho (área sob a curva do torque, em J) gerado durante a realização dos protocolos de exercício. Os números de 1 a 4 indicam as respectivas séries (*Diferença significativa entre TRAD/CR: $P=0,044$)......48
- Figura 8.** Regressão linear referente ao tempo de duração da fase isocinética (TFI) durante a realização dos protocolos nas 4 séries (TRAD: tradicional; CR: contração recíproca e SS: supersérie).....52
- Figura 9.** Taxa de desenvolvimento de aceleração (TDA).....53
- Figura 10.** Co-ativação do músculo bíceps femoral (Eq. 1) na fase de extensão do joelho, durante a realização dos protocolos de exercício.....56

Figura 11. Índice de Fadiga (valores em porcentagem, x100) gerado durante a realização dos protocolos.....	57
Figura 12. Regressão linear referente ao índice de fadiga (FI_{nsm5}) durante a realização dos protocolos (TRAD: tradicional; CR: contração recíproca e SS: supersérie).....	58
Figura 13. Percepção de esforço físico (OMNI) nos protocolos tradicional (TRAD), contração recíproca (CR) e supersérie (SS), nas 4 séries de exercício.....	59
Figura 14. Níveis sanguíneos de lactato mensurados em 4 momentos: (a) Repouso; (b) Imediatamente após a realização dos protocolos; (c) 3 minutos e (d) 5 minutos após o término dos exercícios.....	61

Lista de Tabelas

Tabela 1. Torque e trabalho médio gerados em cada série (S1 a S4) no protocolo tradicional (TRAD), de contração recíproca (CR) e supersérie (SS). Os valores estão apresentados em relação à média \pm desvio-padrão. O $\Delta\%$ representa a queda percentual entre a S4 e a S1, para cada protocolo.....49

Tabela 2. Tempo de duração da fase isocinética (TFI) no protocolo tradicional (TRAD), contração recíproca (CR) e supersérie (SS), ao longo de 4 séries (S1 a S4) com 10 repetições (Rep). Os valores estão apresentados em relação à média \pm desvio-padrão.....51

Tabela 3. Ativação eletromiográfica do músculo VM durante a realização dos protocolos de exercício (TRAD: tradicional; CR: contração recíproca e SS: supersérie), ao longo de 4 séries (S1 a S4) com 10 repetições (Rep). Valores do RMS expressos em % da CIVM (média \pm desvio-padrão).....55

Lista de Abreviaturas e Siglas

Ag/AgCl	Prata/Cloreto de Prata
BF	Bíceps femoral
CIVM	Contração isométrica voluntária máxima
CR	Contração recíproca
EMG	Eletromiografia
FI _{nsm5}	Índice de fadiga muscular de Dimitrov
IEMG	Integral média do sinal eletromiográfico
LSB	<i>Least Significant Bit</i> – Bit menos significante
OMNI-RES	<i>Omni Resistance Exercise Scale</i>
RMS	Raiz quadrada da média (<i>root mean square</i>)
SENIAM	<i>Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles</i>
SS	Supersérie
TDA	Taxa de desenvolvimento de aceleração
TFI	Tempo de duração da fase isocinética (<i>Load Range</i>)
TRAD	Tradicional
VM	Vasto medial

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2.1 HIPÓTESES DO ESTUDO	19
3. JUSTIFICATIVA	20
4. REVISÃO DA LITERATURA	22
4.1 EVIDÊNCIAS SOBRE O MÉTODO DA SUPERSÉRIE	22
4.2 EVIDÊNCIAS SOBRE O MÉTODO COM CONTRAÇÕES RECÍPROCAS	23
4.3 ELETROMIOGRAFIA E FADIGA MUSCULAR	26
5. MATERIAIS E MÉTODOS	30
5.1 TIPO DE ESTUDO	30
5.2 LOCAL	30
5.3 PARTICIPANTES	31
5.4 INSTRUMENTAÇÃO E PROCEDIMENTOS	32
5.4.1 <i>Eletromiografia de superfície</i>	32
5.4.2 <i>Dinamômetro isocinético</i>	37
5.4.3 <i>Esforço físico percebido</i>	38
5.4.4 <i>Medida do Lactato Sanguíneo</i>	38
5.5 FAMILIARIZAÇÃO E APLICAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE EXERCÍCIO RESISTIDO	39
5.6 PROCESSAMENTO DOS SINAIS	41
5.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	45
6. RESULTADOS	46
6.1 DESEMPENHO NO DINAMÔMETRO ISOCINÉTICO	46
6.1.1 <i>Pico de torque e trabalho</i>	46
6.1.2 <i>Tempo de duração da fase isocinética (TFI)</i>	50
6.1.3 <i>Taxa de desenvolvimento de aceleração (TDA)</i>	53
6.2 DESEMPENHO NEUROMUSCULAR	54
6.2.1 <i>Ativação muscular</i>	54
6.2.2 <i>Índice de fadiga muscular</i>	56
6.3 ESFORÇO FÍSICO PERCEBIDO	59
6.4 NÍVEIS DE LACTATO SANGUÍNEO	60
7. DISCUSSÃO	62
8. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
9. REFERÊNCIAS	73
ANEXO I	82
ANEXO II: ARTIGOS PUBLICADOS	87

1. INTRODUÇÃO

O exercício pode ser definido como um movimento corporal planejado, estruturado e repetitivo realizado com o intuito de melhorar ou manter a aptidão física¹. Dentre os componentes da aptidão física, destacam-se as habilidades referentes à agilidade, equilíbrio, coordenação, velocidade, potência e força, tendo o último um importante papel no contexto da funcionalidade e saúde². Os benefícios da atividade física podem variar desde o aumento do desempenho motor e diminuição da gordura corporal, até a melhora na função cardiovascular, aumento do desempenho de atividades desportivas e de vida diária^{1,3,4}.

O treinamento com pesos, ou treinamento de força, também conhecido como exercício resistido, vem se tornando uma das formas mais populares de atividade física, e é considerado um elemento essencial em programas de reabilitação e condicionamento físico^{1,5}. Além disso, os exercícios resistidos são recomendados por diversas organizações com o intuito de manter ou melhorar a aptidão física e o condicionamento físico^{2,4,5}. Dentre seus efeitos, Yeung e Ng⁶, Evetovich et al.⁷ e Michaut et al.⁸ demonstraram aumentos no desempenho e na capacidade de gerar força e, de modo geral, apresentaram achados relativos ao aumento do torque, da capacidade funcional e o aumento da resistência à fadiga muscular. Ainda, Bottaro et al.⁹ demonstraram que por meio da aplicação de um programa com exercícios resistidos, idosos apresentaram ganhos significativos na força muscular e também na capacidade de realizar atividades de vida diária (AVD). Tais achados ressaltam a importância da aplicação dos exercícios resistidos nos domínios da função e da qualidade de vida.

Segundo Rahimi¹⁰ e Willardson e Burkett¹¹ um programa de exercício resistido pode ser delineado para provocar diferentes adaptações, que promoverão efeitos na capacidade funcional do indivíduo e no potencial de gerar força muscular. As adaptações ao exercício resistido podem ser determinadas por fatores genéticos, neurais e musculares, além de influências endócrinas e do estado nutricional¹². O estudo de Moritani e DeVries¹³ apresenta os primeiros achados relativos aos ganhos de força nas fases iniciais

do programa de exercícios, sugerindo que nas primeiras semanas os fatores neurais apresentam uma maior participação nos ganhos de força e, entre 3 a 5 semanas, os fatores musculares (hipertróficos) começam a se destacar.

No entanto, Kraemer e Ratamess¹⁴ afirmam que o ato de realizar um treinamento de força por si só não é suficiente para eliciar os ganhos desejados. Para tal, as variáveis que compõem o treinamento devem ser manipuladas, como por exemplo, o volume, intensidade e frequência do exercício^{4,11,14-18}. Hakkinen et al.¹⁹ destacam que a prática de exercícios resistidos está voltada principalmente para o objetivo de aumentar a capacidade de desempenho muscular. Neste contexto, vale mencionar que além das variáveis de treinamento, outro aspecto importante a ser focado é a diferenciação entre a eficácia dos ganhos proporcionados por diferentes abordagens de treino. Destaca-se, portanto, a necessidade de se compreender e quantificar achados dos inúmeros métodos de exercícios resistidos que foram criados com a finalidade de promover maiores ganhos de força, desempenho, alteração da composição corporal ou necessidades relacionadas à disponibilidade de tempo e equipamentos^{4,20}. Dentre a ampla gama de métodos existentes, é possível citar os treinamentos caracterizados pela pré-ativação (ou pré-carga) de músculos antagonistas, como a supersérie²¹⁻²⁵ e o método que utiliza a contração recíproca entre músculos agonistas e antagonistas²⁵⁻³².

Conceitualmente, Fleck e Kraemer⁴ enquadram esses métodos no contexto do uso de diferentes ordens de exercícios, especificamente, como sendo de ordem alternada entre musculaturas agonistas e antagonistas. O método da supersérie preconiza a realização de séries de exercícios alternados entre os grupos musculares agonistas e antagonistas de um segmento do corpo, com pouco ou nenhum intervalo entre as séries. Aumentos significantes na força são atribuídos a este método, que é responsabilizado como um dos treinamentos mais efetivos⁴. No método de contrações recíprocas, para cada repetição as contrações dos músculos antagonistas devem vir imediatamente seguidas pela contração dos agonistas. Autores afirmam que a ação recíproca entre agonistas e antagonistas representa componentes de inúmeras atividades funcionais^{27,32}, como chutar uma bola ou andar de bicicleta, e demonstram que seu estudo torna-se relevante do ponto de vista funcional³². Ao que parece, a aplicação de resistências com padrão recíproco também

pode incrementar a habilidade neuromuscular necessária para inúmeras atividades funcionais que requerem controle motor de músculos primários e estabilizadores, necessários para uma transição controlada do movimento a partir de uma direção para a sua direção oposta³³.

Recentemente, a utilização da pré-ativação dos músculos antagonistas antes da ativação dos agonistas tem recebido bastante atenção nas clínicas de reabilitação e nas salas de musculação. Ao que parece, as características de pré-ativação dos músculos antagonistas parecem influenciar positivamente a geração de força dos agonistas³⁴. Neste caso, indivíduos submetidos a estas modalidades poderiam melhorar seu desempenho motor e gerar maiores níveis de força²⁹⁻³². Entretanto, evidências para suportar esta informação ainda são escassas e controversas, considerando que outros autores encontraram efeitos deletérios ou nenhum efeito advindo do uso da pré-carga dos músculos antagonistas^{21,24,27}.

Tanto a supersérie quanto a contração recíproca são tidos como métodos que favorecem grande volume de treino em um tempo relativamente menor, quando comparados a métodos tradicionais²⁴. Por outro lado, é importante destacar que existem variações metodológicas entre os estudos, o que dificulta a comparação das modalidades e inviabiliza a afirmação das suas vantagens, principalmente quando o objetivo do treinamento é o aumento do desempenho muscular. Poucos estudos enfocaram a compreensão dos efeitos agudos desses métodos e, até a presente data, apenas Kelleher et al.²³, Robbins et al.²⁴ e Carregaro et al.²⁵ adotaram protocolos com séries múltiplas, muito utilizadas na prática em academias e durante a reabilitação por meio de exercícios resistidos. Outro aspecto importante é o fato de que a maioria dos estudos que focaram a supersérie e as contrações recíprocas tiveram por objetivo avaliar o desempenho e resposta muscular em diferenças velocidades de execução, o que também inviabiliza a afirmação sobre as diferenças de eficácia entre as modalidades.

Deste modo, o objetivo deste estudo foi comparar os efeitos agudos de três protocolos de pré-ativação dos músculos antagonistas (flexores do joelho) no desempenho neuromuscular do músculo agonista, durante a realização do exercício isocinético concêntrico de extensão do joelho realizado com séries múltiplas.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Comparar a capacidade de gerar torque e trabalho ao longo de quatro séries nos três diferentes protocolos de pré-ativação dos músculos antagonistas;
- ii. Avaliar e comparar a taxa de co-ativação dos músculos antagonistas (músculo bíceps femoral) nos três diferentes protocolos de pré-ativação dos músculos antagonistas;
- iii. Comparar a taxa de desenvolvimento de aceleração (TDA) e tempo de duração da fase isocinética (TFI) do exercício de extensão do joelho nos três diferentes protocolos de pré-ativação dos músculos antagonistas;
- iv. Avaliar o índice de fadiga muscular do músculo vasto medial e comparar os três diferentes protocolos de pré-ativação dos músculos antagonistas;
- v. Mensurar os níveis de lactato sanguíneo após a realização do exercício e comparar as concentrações entre cada protocolo de pré-ativação dos músculos antagonistas.

2.1 HIPÓTESES DO ESTUDO

- i. Não haverá diferença significativa ($P>0,05$) no pico de torque (PT) entre os três diferentes protocolos de pré-ativação dos músculos antagonistas.
- ii. Não haverá diferença significativa ($P>0,05$) no índice de fadiga dos músculos extensores do joelho entre os três diferentes protocolos de pré-ativação dos músculos antagonistas.
- iii. Não haverá diferença significativa ($P>0,05$) na ativação eletromiográfica do músculo vasto medial entre os três diferentes protocolos de pré-ativação dos músculos antagonistas
- iv. Não haverá diferença significativa ($P>0,05$) na co-ativação do músculo bíceps femoral entre os três diferentes protocolos de pré-ativação dos músculos antagonistas
- v. Não haverá diferença significativa ($P>0,05$) na taxa de desenvolvimento de aceleração (TDA) entre os três diferentes protocolos de pré-ativação dos músculos antagonistas.
- vi. Não haverá diferença significativa ($P>0,05$) no trabalho gerado entre os três diferentes protocolos de pré-ativação dos músculos antagonistas.
- vii. Não haverá diferença significativa ($P>0,05$) nos níveis sanguíneos de lactato entre os três diferentes protocolos de pré-ativação dos músculos antagonistas.

3. JUSTIFICATIVA

A dinamometria isocinética tem sido usada há quase 30 anos, sendo considerada o padrão-ouro para avaliar o desempenho muscular^{35,36}. Apesar do custo elevado e da dificuldade em se realizar movimentos que se aproximam de ações funcionais, é importante ressaltar que o estudo do exercício realizado no dinamômetro isocinético apresenta vantagens extremamente importantes, como por exemplo, permitir um isolamento e análise da função muscular sob diversas condições, além de permitir contrações musculares máximas e medidas com alta confiabilidade³⁷⁻³⁹. Tais informações demonstram que a compreensão dos efeitos de diferentes sistemas de treinamento pode ser favorecida por estudos realizados por meio da dinamometria isocinética. Posteriormente, o embasamento seria de utilidade para se delinear estudos em condições reais e com equipamentos utilizados na prática clínica e desportiva.

Quanto aos sistemas de treinamento, os achados contraditórios e a dificuldade de comparação entre estudos prévios demonstram que os benefícios preconizados pelo uso de métodos com contrações alternadas ou recíprocas de agonistas e antagonistas apresentam questões sobre sua real eficácia, principalmente quando o objetivo é o ganho de força. Tal fato corrobora a necessidade de novos estudos, destacando que os métodos ainda carecem de elucidação acerca de seus efeitos agudos e crônicos direcionados aos ganhos de força, e sobre as reais vantagens do sistema que utiliza a contração de músculos agonistas e antagonistas²².

Os conceitos apresentados por Smith et al.⁴⁰ e Kisner e Colby³³ sugerem indícios de que contrações recíprocas de músculos agonistas e antagonistas podem diminuir a suscetibilidade à fadiga muscular ao longo das repetições, favorecendo sessões de exercício mais eficientes. Além disso, segundo Baratta et al.⁴¹, os músculos antagonistas proporcionam o controle de forças mecânicas que causam instabilidade articular gerada durante a ação dos agonistas. Os autores sugerem que o fortalecimento de grupamentos musculares antagonistas pode restaurar ou aumentar o equilíbrio muscular em uma articulação. Assim, os exercícios caracterizados por ações alternadas ou

recíprocas podem representar importante aplicação clínica, se considerarmos a redução do risco de lesões ao gerar maior estabilidade articular e, ao mesmo tempo, favorecer maiores ganhos de força. Neste sentido, os achados do presente estudo podem proporcionar benefícios importantes para os praticantes de treinamento de força e profissionais da área da saúde, ao utilizarem estratégias de tratamento compostas por exercícios resistidos com ações recíprocas e, conseqüentemente, obter resultados funcionais importantes.

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1 EVIDÊNCIAS SOBRE O MÉTODO DA SUPERSÉRIE

Estudo prévio verificou que a contração prévia do músculo antagonista teve efeitos positivos na subsequente ativação e no grau de força gerado pelo agonista²². Por outro lado, este não foi o caso quando a contração prévia do antagonista foi realizada por meio de contrações máximas e prolongadas²¹, apontando para o fato de que o aumento da ativação dos músculos antagonistas parece influenciar deletariamente a geração de torque dos músculos agonistas, como enfatizado por Gonçalves e Pinheiro⁴² e Coburn et al.⁴³.

Maynard e Ebben²¹ demonstraram que cinco repetições máximas prévias de flexão, seguidas pelas séries de extensão do joelho, causaram efeito negativo caracterizado pela redução do torque isocinético extensor e da potência do agonista quando os sujeitos realizaram o exercício em uma velocidade lenta ($60^{\circ} \cdot s^{-1}$). O torque gerado pelo quadríceps na condição de pré-fadiga flexora foi de aproximadamente 234N.m, contra um torque de aproximadamente 245N.m na condição sem fadiga. Maynard e Ebben²¹ sugerem uma diminuição da capacidade do músculo agonista gerar força no exercício subsequente, que poderia estar associada ao aumento de ativação dos músculos flexores, previamente fadigados.

Entretanto, Baker e Newton²² relataram que a capacidade de gerar potência aumentou como resultado de uma intervenção com 1 série de 8 repetições dos músculos antagonistas, por meio do exercício de remada sentado, seguida pela série dos agonistas. Os autores desse estudo sugeriram a ocorrência de uma estratégia neural baseada no incremento da inibição recíproca entre agonistas e antagonistas. Apesar do resultado positivo, as comparações devem ser cautelosas, pois são limitadas pelo fato de Baker e Newton²² terem avaliado músculos dos membros superiores, que podem ter uma especificidade diferente do que a de músculos dos membros inferiores.

O sistema da supersérie tradicionalmente utiliza intervalos curtos ou nenhum intervalo entre as séries de exercício, e sugere-se que haja uma maior concentração de lactato, indicando que tal sistema possa incrementar a resistência muscular localizada⁴. O estudo de Kelleher et al.²³ foi o único, até a presente data, a ter avaliado o dispêndio energético durante a realização do método da supersérie. O protocolo utilizado baseou-se no valor de 70% da 1RM de 6 exercícios realizados em aparelhos, com 4 séries desempenhadas até a fadiga e uma velocidade de 2 segundos por movimento. Os autores afirmam que apesar dos métodos que alternam músculos agonistas e antagonistas serem caracterizados pelo seu maior gasto metabólico, as evidências científicas que suportem este fato são escassas. Os achados de Kelleher et al.²³ demonstraram que o sistema da supersérie determinou maior gasto energético e maiores níveis sanguíneos de lactato. No entanto, as comparações desse estudo foram feitas apenas entre a supersérie e um método tradicional (exercício de extensão do joelho sem pré-ativação antagonista).

4.2 EVIDÊNCIAS SOBRE O MÉTODO COM CONTRAÇÕES RECÍPROCAS

Jeon et al.³² avaliaram as ações recíprocas em 1 série com 5 repetições máximas, enfocando apenas a compreensão dos efeitos de diferentes velocidades ($100^{\circ} \cdot s^{-1}$, $200^{\circ} \cdot s^{-1}$ e $300^{\circ} \cdot s^{-1}$). O estudo foi composto por 12 homens e 8 mulheres, além de ser baseado na comparação de diferentes velocidades e taxas de transição entre o movimento gerado pelos músculos agonistas e antagonistas. Os autores comprovaram que a “transição” rápida, ou seja, transição imediata entre a flexão e extensão do joelho, determinou resultados positivos. Na condição com $100^{\circ} \cdot s^{-1}$, a contração concêntrica dos flexores do joelho (músculos isquiotibiais), seguida imediatamente pela contração do agonista (músculo quadríceps) propiciou a geração de maior torque extensor do joelho ($100,1 \pm 30,7N \cdot m$) quando comparado a outras velocidades ($77,92 \pm 24,99N \cdot m$ a $200^{\circ} \cdot s^{-1}$; e $54,24 \pm 20,81N \cdot m$ a $300^{\circ} \cdot s^{-1}$). Ao

que parece, a potencialização do músculo extensor foi resultado de uma facilitação neural advinda dos fusos musculares, que ocorreu nas amplitudes iniciais do movimento de extensão.

No estudo de Grabiner e Hawthorne²⁸ os participantes realizaram 1 série de 10 repetições máximas de flexo-extensão concêntrica isocinética do joelho, em duas condições: flexão na mesma velocidade da extensão e flexão a $450^{\circ} \cdot s^{-1}$. Dentro das duas condições, os sujeitos realizaram a extensão do joelho nas seguintes velocidades: $30^{\circ} \cdot s^{-1}$, $90^{\circ} \cdot s^{-1}$, $150^{\circ} \cdot s^{-1}$, $210^{\circ} \cdot s^{-1}$, $300^{\circ} \cdot s^{-1}$ e $450^{\circ} \cdot s^{-1}$. Ao que parece, o músculo agonista teve seu desempenho aumentado quando os sujeitos realizaram a extensão (agonista) a uma velocidade lenta ($30^{\circ} \cdot s^{-1}$), precedida pela flexão (antagonista) na velocidade de $450^{\circ} \cdot s^{-1}$. Os autores levantam a hipótese de que a energia elástica acumulada pelo agonista na rápida flexão poderia ter sido o mecanismo responsável pela potenciação do torque extensor.

O estudo de Burke et al.³⁰ foi baseado em 1 série de 3 repetições realizadas em um aparelho para exercício de remada sentado, com sistema hidráulico. Nesse estudo, a velocidade foi controlada pelo tempo de movimento, sendo a velocidade lenta caracterizada pelo movimento com aproximadamente 2,5 segundos e a rápida, com duração de 0,8 segundos. Ao que parece, as repetições constituídas pelo rápido exercício concêntrico do antagonista seguido imediatamente pelo agonista determinaram aumentos na geração do pico de torque do músculo agonista. O mecanismo sugerido por Burke e colaboradores também foi a potencialização do fuso muscular e um acúmulo de energia elástica ao final da contração do músculo antagonista. Assim como outros autores, Burke e colaboradores³⁰ enfocaram a compreensão da velocidade de movimento entre agonistas e antagonistas, e não compararam o método recíproco com outras modalidades.

Bohannon²⁶ apresenta um dos primeiros achados relativos à aplicação de contrações recíprocas, voltados para a avaliação de sujeitos acometidos por acidente vascular encefálico. Em seu estudo, foi possível verificar que ao realizarem 1 série com 8 repetições de contrações recíprocas isocinéticas a $60^{\circ} \cdot s^{-1}$, os sujeitos foram capazes de gerar um torque médio de $39,4 \pm 28,5 N \cdot m$, valor este aproximadamente 10% maior do que o gerado durante a condição denominada como reversa (modelo de supersérie). Por outro lado, Bohannon

et al.²⁷ (1986) não obtiveram os mesmos resultados ao comparar o método de contração recíproca e o tradicional, em indivíduos saudáveis. Neste estudo, os participantes realizaram 1 série de 10 repetições concêntricas isocinéticas máximas a $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ e $120^{\circ} \cdot s^{-1}$, gerando, respectivamente, um pico de torque extensor de $98,9 \pm 31,3 N \cdot m$ e $81,8 \pm 25,5 N \cdot m$ no método recíproco. Vale citar que a amostra de Bohannon et al.²⁷ foi constituída por 10 mulheres e 8 homens, além de não ter sido realizado um período de familiarização adequado, aspectos estes que poderiam explicar os baixos valores de torque e a ausência de diferença entre o método tradicional e de ações recíprocas.

Roy e colaboradores²⁹ sugerem que as vantagens advindas das ações recíprocas se devem a um estímulo facilitatório dos órgãos tendinosos de golgi (OTG) dos músculos flexores e dos fusos musculares dos extensores, atribuídas à flexão prévia. Seus achados demonstraram que a geração de torque extensor do joelho foi maior durante a flexão imediatamente seguida pela extensão. Ao que parece, tal resposta seria explicada por um evento neuromuscular causado pela ação do músculo flexor, que ativaria os OTGs e sua rede de motoneurônios, enquanto que, concomitantemente, os fusos musculares dos extensores (alongados) levariam a uma facilitação e melhor desempenho na contração subsequente.

Kisner e Colby³³ e Smith et al.⁴⁰ também sugerem que, durante a ativação concêntrica de um músculo agonista, o antagonista apresenta uma inibição recíproca que permite seu relaxamento e, conseqüentemente, pode facilitar a ação do agonista. Este mecanismo sugere a hipótese de que durante a realização de exercícios com séries múltiplas a inibição recíproca possa diminuir a suscetibilidade à fadiga muscular ao longo do exercício, e favorecer a capacidade de gerar e/ou manter níveis adequados de torque e trabalho ao longo da sessão. No entanto, esta hipótese precisa ser confirmada durante a realização do exercício resistido nos sistemas que alternam agonistas e antagonistas.

Embora a literatura tenha sugerido que o método de ação recíproca seja mais favorável para o desempenho dos músculos agonistas, tais conclusões basearam-se em exercícios conduzidos com séries simples^{28-30,32}, o que levanta questões sobre sua real transferência para o treinamento de força, no qual séries múltiplas são utilizadas com maior freqüência.

4.3 ELETROMIOGRAFIA E FADIGA MUSCULAR

É ponto consensual na literatura que a amplitude do sinal eletromiográfico está relacionada com a ativação de unidades motoras, e que o domínio da frequência reflete a velocidade de condução do potencial de ação⁴⁴⁻⁴⁶, caracterizando a EMG como uma importante ferramenta de avaliação das respostas neurais ao exercício resistido. Neste contexto, a análise da fadiga em condições dinâmicas e durante o exercício resistido representa uma importante estratégia de avaliação, com o intuito de se compreender as influências da fadiga no desempenho humano⁴⁷. Em músculos submetidos aos efeitos da fadiga, tem-se considerado mudanças no formato do espectro de frequências do sinal eletromiográfico, como por exemplo, a diminuição das frequências do sinal atribuída à sincronização de unidades motoras ou uma diminuição da velocidade de condução da fibra muscular⁴⁸.

A fadiga induzida pelo exercício físico tem sido um dos temas mais estudados nas últimas décadas⁴⁹. Conceitualmente, a repetição de contrações musculares pode vir acompanhada de eventuais declínios da força muscular ou diminuição da potência, que pode comprometer o desempenho no exercício, representando assim os efeitos deletérios da fadiga⁵⁰. Entretanto, Basmajian e DeLuca⁵¹ afirmam que o conceito de fadiga aplicado ao monitoramento da deterioração do desempenho do ser humano é, com muita frequência, mal interpretado com definições e descrições divergentes. Um dos conceitos amplamente difundidos sobre a fadiga remete às demonstrações de um evento específico identificado em determinado período de tempo, por exemplo, quando uma tarefa ou movimento já não pode mais ser mantido ou realizado. Entretanto, a fadiga deve ser interpretada como sendo tempo-dependente, ou seja, está ocorrendo ao longo da atividade e não necessariamente representa uma ocorrência pontual.

A etiologia da fadiga é controversa, embora esteja associada a uma diminuição dos comandos advindos do sistema nervoso central e/ou mudanças na concentração de metabólitos, eletrólitos ou lesão de estruturas musculares⁴⁹. De modo a compreender suas causas, a fadiga pode ser dividida em central e

periférica^{49,51}. A central se refere a alterações do funcionamento cerebral, sendo um dos prováveis mecanismos a alteração na síntese e na atividade de alguns neurotransmissores. Por outro lado, a fadiga periférica caracteriza-se por manifestações musculares tais como diminuição da propagação do potencial de ação da fibra muscular, liberação e reabsorção de cálcio pelo retículo sarcoplasmático (acoplamento excitação-contração) e também pelo acúmulo de produtos metabólicos, como o lactato^{49,50,52}. Neste contexto, não foram encontrados estudos que tenham avaliado a ocorrência de fadiga muscular durante a realização de séries múltiplas de exercício por meio de índices baseados no cálculo de momentos espectrais, adequados à monitoração da fadiga durante contrações musculares dinâmicas⁵³. E em relação à análise das respostas metabólicas, apenas o estudo de Kelleher et al.²³ foi encontrado, demonstrando que as evidências sobre as respostas agudas dos métodos ainda são escassas.

Vale destacar que poucos estudos avaliaram a amplitude de ativação muscular nos sistemas que alternam músculos agonistas e antagonistas na supersérie²¹ ou em contrações recíprocas^{31,32}. De modo geral, as análises eletromiográficas focaram a avaliação da amplitude do sinal por meio do cálculo da RMS (*root mean square*), tendo sido calculada sua média entre as repetições executadas no exercício recíproco ou na supersérie. Entretanto, estes estudos foram caracterizados por séries simples. Jeon et al.³² avaliaram a ativação eletromiográfica durante a fase concêntrica de extensão do joelho por meio dos valores de pico, valor médio do RMS e ativação inicial dos músculos vasto medial e lateral. Os achados demonstraram um aumento da atividade eletromiográfica média e inicial do quadríceps na condição recíproca. No entanto, a aplicabilidade do estudo de Jeon e colaboradores³² se limita apenas à compreensão de que a velocidade do exercício não influencia o grau de ativação dos músculos agonistas durante o exercício com contrações recíprocas. Maynard e Ebben²¹ utilizaram uma análise por meio da integral média do sinal eletromiográfico (IEMG), demonstrando que os músculos antagonistas (bíceps femoral) tiveram um aumento da sua IEMG durante a fase de extensão do joelho (ação do agonista), em uma condição em que foram previamente fadigados. De acordo com os autores, este achado poderia explicar os efeitos deletérios na geração de força do músculo quadríceps,

considerando que músculos flexores mais co-ativados gerariam uma resistência contrária.

Miller e colaboradores³¹ avaliaram o sistema recíproco de flexão e extensão do joelho em 3 condições, nas quais os sujeitos realizaram a extensão do joelho seguida pela flexão em 1 série de 6 repetições máximas a $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ e $180^{\circ} \cdot s^{-1}$, e 1 série de 30 repetições máximas a $300^{\circ} \cdot s^{-1}$. Em relação à análise eletromiográfica, o estudo avaliou o RMS e a frequência mediana. Para determinar a fadiga, os autores avaliaram a frequência mediana na 15^a e 30^a repetições na condição de $300^{\circ} \cdot s^{-1}$. Os achados demonstraram que o músculo vasto medial apresentou 1,5 vezes mais ativação do que o vasto lateral nas 3 condições e que o bíceps femoral foi o mais ativado durante a flexão. Adicionalmente, tanto o vasto medial quanto o bíceps femoral não apresentaram sinais de fadiga na condição de $300^{\circ} \cdot s^{-1}$. Com base no estudo de Miller é possível notar que os músculos vasto medial e bíceps femoral parecem ser os mais importantes durante ações que alternam os músculos agonistas e antagonistas do joelho. No entanto, vale mencionar que Miller e colaboradores avaliaram a atividade eletromiográfica durante séries simples e apenas das repetições nas quais foi gerado o pico de torque. Neste caso, não foi possível observar a resposta muscular ao longo do tempo e, além disso, se haveriam variações no comportamento da amplitude eletromiográfica entre diferentes sistemas de exercício (supersérie e ação recíproca).

Durante o exercício de alta intensidade, o acúmulo lactato foi, por muito tempo, aceito como um dos principais responsáveis pela fadiga muscular^{50,54}. Sucintamente, a hipótese de fadiga por meio do acúmulo de lactato remonta ao uso da energia do ATP pela enzima ATPase, como meio para promover a ciclagem entre os filamentos de actina e miosina durante a contração muscular. No processo da glicólise, a glicose ou o glicogênio é degradado em ácido pirúvico pela ação de enzimas glicolíticas. Na ausência de oxigênio (glicólise anaeróbia) o ácido pirúvico é convertido em ácido láctico, que se dissocia transformando-se em lactato e íons H^{+} ^{54,50,55}. Ao que parece, o acúmulo de lactato e H^{+} levam a uma acidose muscular, tida como responsável pela diminuição da capacidade contrátil dos músculos e efeitos deletérios no desempenho⁵⁰.

Entretanto, achados recentes apontam para o fato de que a acidose muscular ocasionada pelo aumento da concentração de H^+ e lactato parece não afetar primariamente o desempenho muscular, principalmente em temperaturas próximas da fisiológica ($>20^{\circ}C$)⁵⁴. Outros estudos demonstraram que o aumento do H^+ /lactato apresenta relação com a diminuição da força, entretanto, sem uma relação de causa e efeito clara, indicando que a fadiga é multifatorial⁵⁴ e depende de outros aspectos, como aumento da concentração de fosfato inorgânico, diminuição do ATP e creatina-fosfato, e alterações no acoplamento de excitação-contração⁵⁰.

Kelleher et al.²³ afirmam que exercícios realizados na modalidade supersérie tendem a apresentar um maior custo energético, principalmente por causa do tempo reduzido de recuperação, o que leva a uma maior produção de metabólitos e, conseqüentemente, a fadiga. A análise da concentração de lactato, neste caso, pode ser interessante para se verificar os efeitos pós-exercício e caracterizar a presença do metabolismo anaeróbio e da fadiga^{23,50}. Assim, no presente estudo a concentração de lactato sanguíneo será considerada como um marcador indireto dos efeitos da fadiga, com o intuito de verificar diferenças no desempenho após a realização de exercícios que utilizam diferentes ordens de pré-ativação dos músculos antagonistas, como sugerido por Cairns⁵⁰ e Kelleher et al.²³.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 TIPO DE ESTUDO

O estudo foi caracterizado por um desenho experimental, ilustrado na Figura 1. De modo geral, os participantes executaram 3 protocolos de exercício resistido, após serem submetidos a uma sessão de familiarização. Os momentos foram intercalados por um período de no mínimo 72hs e a ordem dos protocolos foi aleatorizada, para cada participante.

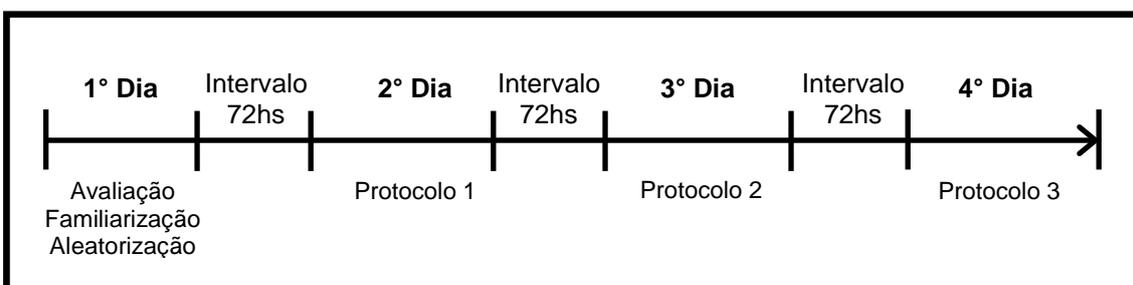


Figura 1. Ilustração que representa o desenho do estudo. A ordem dos protocolos foi aleatorizada para cada sujeito.

5.2 LOCAL

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

5.3 PARTICIPANTES

Foi realizado um cálculo amostral (*software* GPower versão 3.1.2) considerando o poder estatístico de 80% ($1-\beta=0,80$; erro tipo II) e um valor α de 5% ($\alpha=0,05$; erro tipo I)^{56,57}, que indicou uma amostra de 20 sujeitos como suficiente para a realização do estudo.

A amostra foi composta por 24 indivíduos sadios do gênero masculino ($23,5 \pm 3,6$ anos de idade; $79,1 \pm 11,9$ Kg; $1,80 \pm 0,10$ m de altura e IMC de $25,1 \pm 2,9$ kg/m²) recrutados na Universidade de Brasília (UnB). Os participantes foram submetidos a uma avaliação física, composta por um questionário contendo informações sobre dados pessoais (dominância manual e de pernas, informações sobre a atividade física - tipo e frequência), dados clínicos (doenças prévias, presença de traumas e cirurgias recentes) e presença de dor. Para serem selecionados, deveriam preencher os critérios de inclusão e exclusão:

(A) *Critérios de Inclusão*: (1) Idade compreendida entre 18 e 35 anos; (2) serem fisicamente ativos (realização de atividade física pelo menos 2x/semana).

(B) *Critérios de exclusão*: (1) história de traumas e qualquer tipo de cirurgia de natureza musculoesquelética em membros inferiores e coluna; (2) quadro diagnosticado de lombalgia, nos últimos seis meses e (3) doença cardiovascular e hipertensão arterial diagnosticada.

Os indivíduos que atenderam aos critérios foram esclarecidos sobre os objetivos da pesquisa e procedimentos, e convidados a participar do estudo assinando um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, de acordo com a Resolução 196 do CNS e devidamente aprovado pelo Comitê de Ética da Faculdade de Saúde da Universidade de Brasília (FS/UnB) (protocolo n. 161/2008).

5.4 INSTRUMENTAÇÃO E PROCEDIMENTOS

5.4.1 Eletromiografia de superfície

O registro e processamento dos sinais eletromiográficos foram baseados nas recomendações e cuidados propostos pela Sociedade Internacional de Eletrofisiologia e Cinesiologia⁵⁸ e nas recomendações de Soderberg e Knutson⁴⁵. Os procedimentos de colocação dos eletrodos basearam-se nas diretrizes do projeto SENIAM - *Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles*⁵⁹.

Utilizou-se um eletromiógrafo de superfície portátil de 4 canais (*Miotool, Miotec Equipamentos Biomédicos Ltda, Brasil*), com resolução de 14bits, nível de ruído < 2LSB e modo de rejeição comum de 110db. 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 20mm entre os pólos de captação. O eletrodo de referência foi acoplado na proeminência óssea da sétima vértebra cervical (C7). Eles foram conectados (por meio de um cabo extensor) a um pré-amplificador de alta impedância e os sinais foram ajustados a uma amostragem de 2.000Hz e um ganho final de 1000 vezes nos canais habilitados.

Os eletrodos foram posicionados sobre os ventres musculares e em paralelo às fibras musculares do bíceps femoral (BF) e vasto medial (VM), segundo a descrição de Basmajian e DeLuca⁵¹ e de acordo com a metodologia proposta pelo SENIAM (Figuras 2 e 3). O músculo VM foi escolhido com base nos achados de Miller et al.³¹, no qual foi observado 1,5 vezes mais ativação do que outros músculos do grupamento durante protocolo similar ao utilizado no presente estudo.

Antes da colocação dos eletrodos a área foi tricotomizada e, em seguida, realizada uma leve abrasão com álcool 70%. O posicionamento dos eletrodos paralelos às fibras musculares foi adotado para garantir que as barras de captação estivessem perpendiculares às fibras e, desta forma, o sinal captasse o maior número possível de unidades motoras.

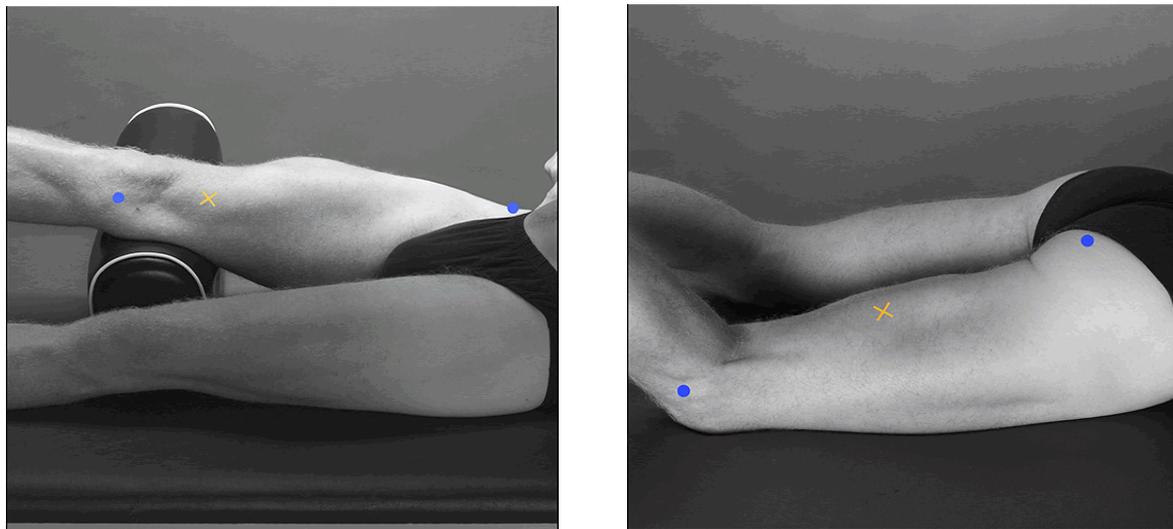


Figura 2. Ilustração do posicionamento dos eletrodos da eletromiografia (indicado pela marca X), com base no método da SENIAM. No lado esquerdo o músculo vasto medial e, à direita, o bíceps femoral.

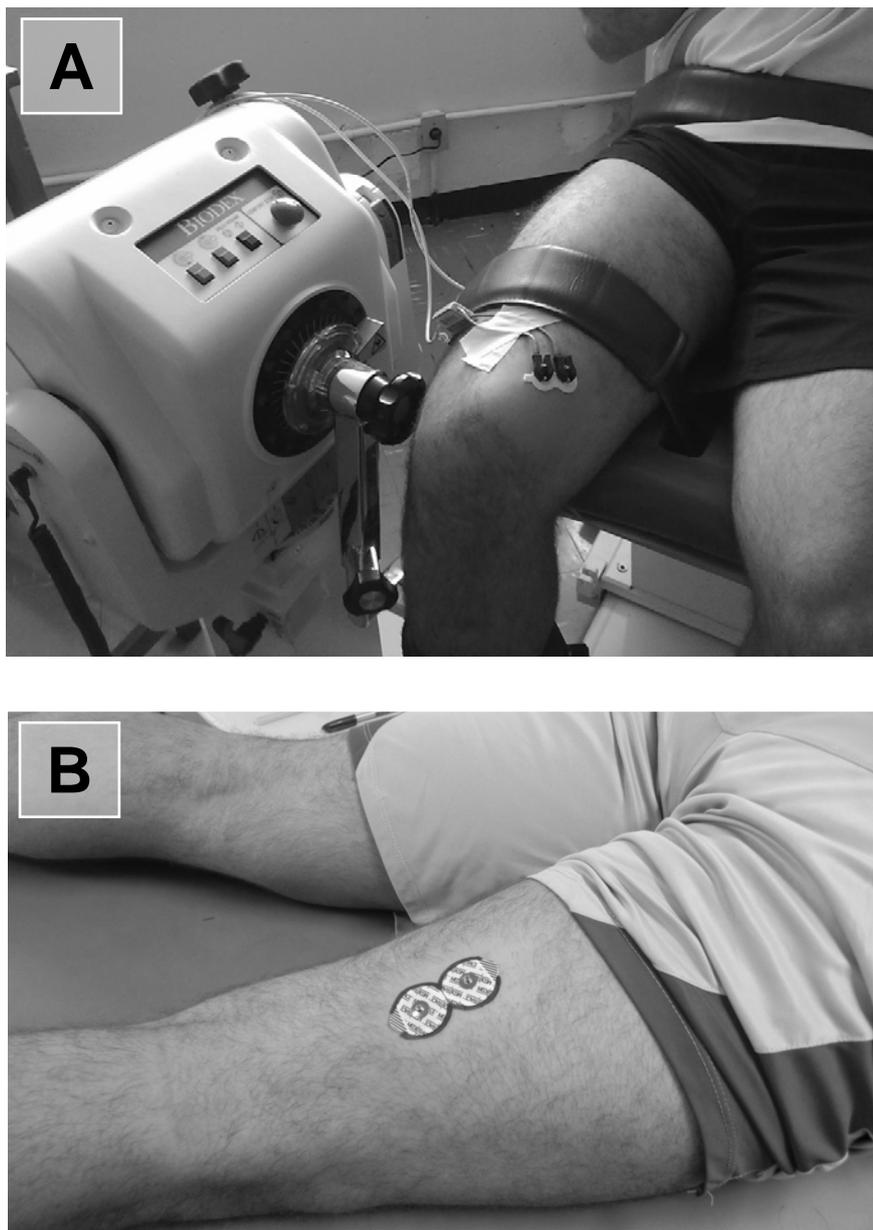


Figura 3. Ilustração da colocação dos eletrodos nos músculos vasto medial (A) e bíceps femoral (B), no presente projeto.

Todos os sujeitos realizaram uma contração isométrica voluntária máxima (CIVM) com a articulação do joelho posicionada a 60°⁶⁰, tendo como referencial de 0° a extensão completa do joelho, para o procedimento de normalização dos dados eletromiográficos⁶¹. A CIVM foi caracterizada por 2 contrações isométricas em cada condição (flexão e extensão do joelho) com duração de 5 segundos cada. Entre cada contração, houve um intervalo de 2 minutos de repouso.

A amplitude do sinal eletromiográfico foi calculada por meio do RMS (*root mean square*), durante cada repetição de exercício. O intuito foi verificar o comportamento do sinal eletromiográfico ao longo das múltiplas séries, influenciado pelos diferentes métodos de exercício resistido.

A co-ativação do músculo BF foi analisada em cada repetição do exercício, e calculada como a relação da atividade muscular do BF (valor do RMS) durante os movimentos de extensão do joelho, de acordo com a seguinte equação⁶²:

$$\text{Eq. (1)} \quad \text{co-ativação BF} = \left(\frac{\text{rmsBF}}{\text{rmsVM}} \right) * 100$$

Com o intuito de permitir o monitoramento do músculo bíceps femoral na posição sentada, no presente estudo foi confeccionado um banco de borracha EVA (etil-vinil-acetato) e revestimento em *courvin*, que possui um orifício na região da coxa. Este banco permitiu a livre movimentação da perna durante os exercícios resistidos, sem que o eletrodo acoplado ao BF tocasse o banco do dinamômetro (Figura 4).



Figura 4. Ilustração do banco confeccionado para o projeto. Acima, visão superior do banco e, abaixo, demonstração do posicionamento do voluntário, com o eletrodo no músculo BF. A seta indica o orifício de entrada dos cabos da EMG.

5.4.2 Dinamômetro isocinético

Foi utilizado um dinamômetro isocinético da marca Biodex System 3 (*Biodex Medical, Shirley, NY*) para avaliar as medidas instantâneas do pico de torque, trabalho total, velocidade angular, posição articular e aceleração, durante o exercício concêntrico de flexão e extensão do joelho. O programa *Biodex Advantage* versão 3 foi utilizado para o registro e estocagem dos dados.

Os sinais foram adquiridos por meio de uma interface DB-15 fêmea⁶³, que provê os sinais analógicos em tempo real do torque, velocidade angular e posição angular. Um adaptador foi construído⁶⁴ a fim de obter os sinais da interface a partir de três diferentes conectores até uma placa digitalizadora (*BNC-2120, National Instruments, TX, EUA*), que faz uma amostragem dos sinais em $2.000 \text{ amostras.s}^{-1}$, e converte os dados analógicos em digitais através de uma placa A/D de 12 bits.

A calibração do dinamômetro foi realizada de acordo com as especificações do manual do fabricante. O sujeito foi posicionado na cadeira, com a possibilidade de um movimento livre e confortável de flexão e extensão do joelho. Neste processo, utilizou-se como parâmetro a extensão do joelho definida como 0° e uma flexão a 90° , utilizando-se uma amplitude de movimento de flexo-extensão de 80° (excursão desde os 90° de flexão até 10°). 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 sujeitos.

Para que o posicionamento dos sujeitos fosse confiável entre os diferentes dias de avaliação, as seguintes medidas foram anotadas e replicadas: altura da cadeira, inclinação do encosto, altura do dinamômetro e ajuste da almofada de resistência. A correção da gravidade foi obtida medindo-se o torque exercido pela almofada de resistência e a perna do participante (relaxada), na posição de extensão terminal. Os valores das variáveis isocinéticas foram automaticamente ajustados para gravidade pelo programa *Biodex Advantage 3*.

5.4.3 Esforço físico percebido

Utilizou-se a escala validada OMNI-RES (*Omni Resistance Exercise Scale*)⁶⁵, para monitorar o esforço físico percebido em cada protocolo de exercício.

A escala apresenta descritores verbais e pictóricos, distribuídos ao longo de um eixo numérico que varia de 0 (extremamente fácil) a 10 (extremamente difícil) (Anexo I). A descrição pictórica apresenta um levantador de peso, posicionado ao longo das respostas verbais correspondentes a cada número. Esta apresentação propicia um formato discernível, que se relaciona com o gradiente de intensidade do exercício. Os indivíduos foram devidamente instruídos sobre os objetivos da escala e sua respectiva interpretação, que foi aplicada ao final de cada uma das 4 séries de exercício, para cada protocolo.

5.4.4 Medida do Lactato Sanguíneo

Após assepsia do local com álcool 70%, foi realizada punção do lóbulo da orelha, utilizando luvas de procedimento e lanceta descartável. A primeira gota de sangue foi desprezada, evitando contaminação da amostra com suor e, em seguida, coletada uma pequena amostra de sangue (25µl) antes dos exercícios (estando os indivíduos em repouso absoluto a pelo menos 15 minutos). No procedimento foram utilizados capilares de vidro descartáveis heparinizados e previamente calibrados.

Também foram realizadas coletas da mesma quantidade de sangue após o término dos exercícios, nos seguintes momentos: (a) imediatamente após o término, (b) 3 minutos, e (c) 5 minutos decorridos do final da execução de cada protocolo de exercício (descritos a seguir). As amostras foram depositadas em micro-túbulos rotulados (*Eppendorf®*) contendo 50µl de solução de fluoreto de sódio a [1%], e armazenadas a aproximadamente 4°C por cerca de 30 minutos e posteriormente colocadas em refrigerador. Todas as

amostras foram analisadas utilizando-se o analisador de lactato YSI 1500 (*Yellow Springs Instrument Co., Yellow Springs, OH*).

5.5 FAMILIARIZAÇÃO E APLICAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE EXERCÍCIO RESISTIDO

Os voluntários compareceram ao laboratório em quatro momentos distintos, com um intervalo mínimo de 72hs entre cada momento (Figura 1).

No primeiro dia de testes foi realizada a Familiarização, após a avaliação física e inclusão dos sujeitos. Antes da realização dos procedimentos e exercícios no dinamômetro, todos realizaram um aquecimento por meio de um exercício leve e sem carga, de 10 minutos, em uma bicicleta ergométrica. Ao serem posicionados no dinamômetro os indivíduos foram estabilizados por meio de faixas posicionadas no quadril, coxa e tronco, de modo a evitar movimentos e/ou compensações indesejadas que pudessem influenciar o resultado. Inicialmente, os participantes realizaram as duas CIVM (flexão e extensão) e, após 5 minutos de repouso, todos foram submetidos a um teste que consistiu em 2 séries de 4 repetições isocinéticas concêntricas máximas de flexo-extensão do joelho, que serviu como processo de familiarização. Cada série foi realizada com uma velocidade de $60^{\circ}.s^{-1}$, e um intervalo de 1 minuto de repouso entre cada série^{66,67}. A posição inicial de teste foi estabelecida pela flexão do joelho em aproximadamente 90° e, a partir desta posição, os indivíduos foram instruídos a realizar os movimentos de extensão e flexão do joelho do membro dominante (determinada como a perna utilizada no chute), com força máxima e em toda a amplitude de movimento disponível.

Durante as avaliações, solicitou-se aos voluntários que posicionassem seus braços contra o tórax, para que os braços apoiados na cadeira não influenciassem a geração de força dos membros inferiores⁶⁸. Além disso, foi dado um encorajamento verbal e um *feedback* visual pela tela do computador, na tentativa de se alcançar o nível máximo de esforço.

O segundo, terceiro e quarto encontros foram caracterizados pela aplicação dos protocolos de exercício concêntrico isocinético dos flexores e

extensores do joelho do membro inferior dominante (perna usada para chutar uma bola), com 4 séries de 10 repetições cada, em uma velocidade de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$. Entre as séries, houve um intervalo de repouso de 1 minuto. A ordem das sessões foi aleatorizada para cada participante. As descrições dos exercícios estão apresentadas a seguir:

(1) Método Contração Recíproca (CR): realização do exercício concêntrico recíproco de agonistas e antagonistas, caracterizado pelo movimento de flexão do joelho imediatamente seguido pela sua extensão, em cada repetição. O exercício foi dividido em 4 séries de 10 repetições cada, com velocidade de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$. Entre as séries, houve um intervalo de descanso de 1 minuto.

(2) Método da Supersérie (SS): realização do exercício concêntrico alternado dos antagonistas e agonistas. O sujeito realizou uma série do exercício dos antagonistas (flexores do joelho) e, após 10 segundos, realizou a série do agonista (extensores do joelho), totalizando 4 séries de 10 repetições para cada grupamento, de modo alternado, com uma velocidade de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$. Entre as séries, houve um intervalo de descanso de 1 minuto.

(3) Método Tradicional (TRAD): realização do exercício concêntrico dos extensores do joelho, divididos em 4 séries de 10 repetições cada, com velocidade de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$. A pré-ativação foi caracterizada pela realização de 4 séries de flexão do joelho na velocidade de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$, antes das 4 séries de extensão. Entre todas as séries, houve um intervalo de descanso de 1 minuto.

5.6 PROCESSAMENTO DOS SINAIS

Os sinais eletromiográficos e isocinéticos foram processados por meio de uma rotina de análise no programa Matlab (*version 7.8 release 2009a, MathWorks Inc, USA*). Foram analisadas todas as repetições em cada série de exercício resistido. Adotou-se um filtro butterworth de 4ª ordem com frequência de passa-banda entre 20Hz a 450 Hz, para filtragem do sinal eletromiográfico. Os dados de posição, velocidade angular e torque foram filtrados com um filtro de passa-baixa de 30Hz.

Os valores da taxa de desenvolvimento de aceleração (TDA) foram calculados com base na inclinação da curva torque X tempo, durante a fase inicial da contração isocinética concêntrica, representando o tempo dispendido até se atingir a fase isocinética (fase na qual a velocidade de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ era atingida). A partir deste marco, a rotina delimitou o início e fim da fase isocinética (Figura 5). Com base na demarcação, todos os dados foram processados tendo como referência este período. Deste modo, as seguintes variáveis foram extraídas pela rotina:

(A) Variáveis isocinéticas:

- 1) Tempo de duração da fase isocinética (TFI, em segundos): definida como o período de tempo entre o início e fim da fase isocinética (fase na qual os sujeitos se mantiveram na velocidade de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$);
- 2) Taxa de Desenvolvimento de Aceleração (TDA, em segundos): tempo para se atingir a fase isocinética;
- 3) Torque (em N.m): pico do torque gerado em cada repetição;
- 4) Trabalho (em Joules): definido como a área total sob a curva do torque;

(B) Variáveis eletromiográficas:

- 1) Ativação do VM (em % da CIVM): RMS médio do sinal eletromiográfico, delimitado pela fase isocinética, e normalizado pela CIVM;
- 2) Co-ativação do BF (em %): definida pela Eq (1).

A fadiga muscular foi verificada com base nas recomendações e equações preconizada por Dimitrov et al.⁵³, que propuseram um novo índice adequado para avaliar contrações dinâmicas. No presente estudo, a fadiga do músculo VM foi avaliada. Todas as análises foram realizadas por meio de uma segunda rotina, no programa Matlab (*version 7.8 release 2009a, MathWorks Inc, USA*).

O novo índice espectral (FI_{nsm5}) foi criado para avaliar as mudanças espectrais durante a contração muscular, e se baseia nas características da EMG (domínio da frequência), sendo obtido pelo algoritmo convencional da FFT (transformada rápida de Fourier). O índice é caracterizado pela razão entre o momento do sinal espectral de ordem $k = -1$ e o momento de ordem $k = 5$. Neste caso, o momento representa a área sob a curva do espectro, após a multiplicação da frequência elevada à potência de -1 ou 5 (chamada ordem k do momento). De acordo com Dimitrov e colaboradores⁵³, os momentos espectrais permitem extrair características específicas e reconhecer padrões a partir da função de densidade de potência-espectral. O momento $k = 5$ foi utilizado tendo como base as recomendações de Dimitrov e colaboradores⁵³, os quais sugerem que esta seja a ordem ideal para detectar variações de fadiga.

O momento espectral de ordem -1 enfatiza o aumento de baixas e ultra-baixas frequências no espectro EMG, atribuído ao aumento do pós-potencial negativo durante a fadiga muscular. Os momentos espectrais de ordem 5 enfatizam o efeito da diminuição de altas frequências atribuídas ao aumento da duração de potenciais de ação intracelulares e a diminuição da velocidade de propagação do potencial de ação. Assim, a FI_{nsm5} provê índices com relações entre altas e baixas frequências que, em contraste a outros índices, não depende de uma seleção subjetiva de um ponto de separação entre altas e baixas frequências (como por exemplo, o uso de uma frequência mediana).

No cálculo do índice espectral, cada repetição do exercício (dentro de cada série) foi considerada um “segmento”, que foi analisado (Figura 5). Em cada segmento, foi obtido o espectro de densidade da frequência por meio da FFT convencional. Os momentos espectrais foram utilizados para se extrair as características da densidade espectral do sinal EMG, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\text{Eq (2)} \quad M_k = \int_{f_{\text{mín}}}^{f_{\text{máx}}} f^k \cdot \text{PS}(f) \cdot df$$

Onde:

M_k : Momento espectral de ordem k ;

$\text{PS}(f)$: Espectro de frequência do sinal EMG, como função da frequência f ;

$f_{\text{mín}}$ e $f_{\text{máx}}$: Delineamento da faixa do sinal (neste caso, a faixa utilizada na filtragem, de 20 a 450Hz).

O novo índice (FI_{nsm5}) foi calculado como a razão entre os momentos espectrais de ordem -1 e ordem 5:

$$\text{Eq. (3)} \quad \text{FI}_{\text{nsm5}} = \frac{\int_{f_1}^{f_2} f^{-1} \cdot \text{PS}(f) \cdot df}{\int_{f_1}^{f_2} f^5 \cdot \text{PS}(f) \cdot df}$$

Onde:

$\text{PS}(f)$: Espectro de frequência do sinal EMG, como função da frequência f ;

f_1 e f_2 : Faixa do sinal, $f_1=20\text{Hz}$ e $f_2=450\text{Hz}$.

As mudanças nos valores dos índices foram feitas com base na comparação entre as repetições subseqüentes e a primeira repetição, dentro de cada série. Sendo assim, a primeira repetição sempre foi referenciada como 100% e as repetições subseqüentes foram baseadas na seguinte equação:

$$\text{Eq. (4)} \quad \frac{\text{FI}_{\text{nsm5}}^n}{\text{FI}_{\text{nsm5}}^1} \times 100 \quad (n = 1, 2, \dots, 10)$$

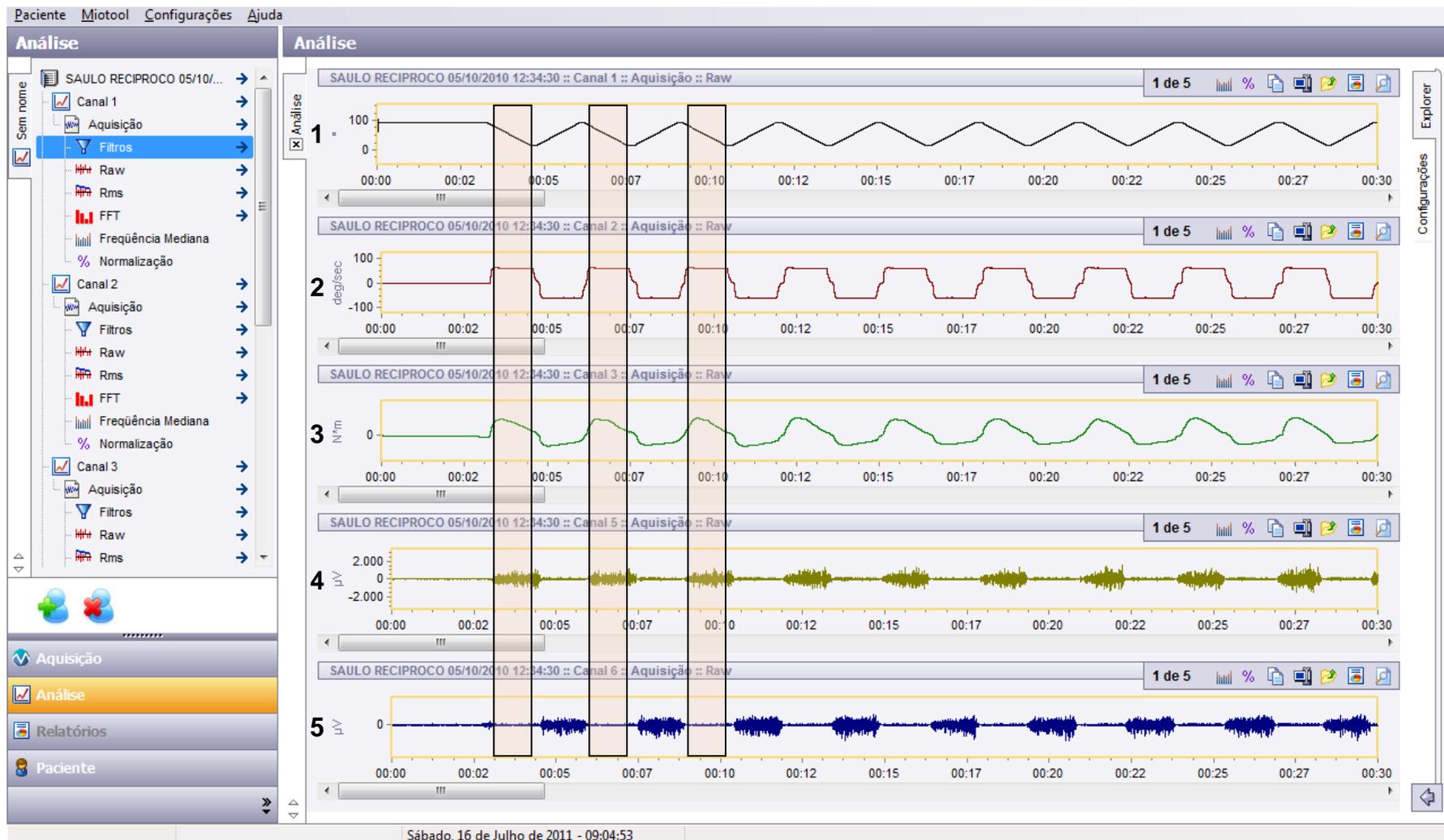


Figura 5. Apresentação de uma série de exercício, na qual é ilustrado o procedimento de seleção da fase isocinética. Notar a demarcação da área delimitada por duas linhas, que foi utilizada como parâmetro de seleção do trecho a ser analisado em todos os canais, para cada repetição. Canais: (1) Posição angular; (2) Velocidade; (3) Torque; (4) Músculo vasto medial e (5) Músculo bíceps femoral.

5.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*) versão 17.0 e programa Minitab versão 14.1. Os dados são apresentados em relação à média \pm desvio-padrão, tendo sido verificada a normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. A significância adotada foi de 5% ($P < 0,05$). As variáveis independentes são: protocolos (TRAD; CR e SS) e número de séries (1 a 4). As variáveis dependentes são: Índice de Fadiga (FI_{nsm5}); ativação do músculo vasto medial; pico de torque; trabalho total; TDA; TFI; co-ativação do músculo BF; esforço físico percebido e concentração sanguínea de lactato.

Utilizou-se uma Análise de Variância (ANOVA) de dois fatores (3 x 4 [protocolos x número de séries]) para medidas repetidas, com o teste *post-hoc* de Tukey, com o intuito de se verificar diferenças nas variáveis dependentes. O teste de esfericidade de Mauchly's W foi aplicado e, sempre que refutado, as análises basearam-se na correção de Greenhouse-Geisser.

Com o intuito de verificar as influências em variáveis funcionais do desempenho nos protocolos TRAD, CR e SS, foi realizada uma regressão linear considerando-se o preditor (influência) número de repetições. As variáveis de resposta consideradas nas análises foram o TFI e índice de fadiga.

6. RESULTADOS

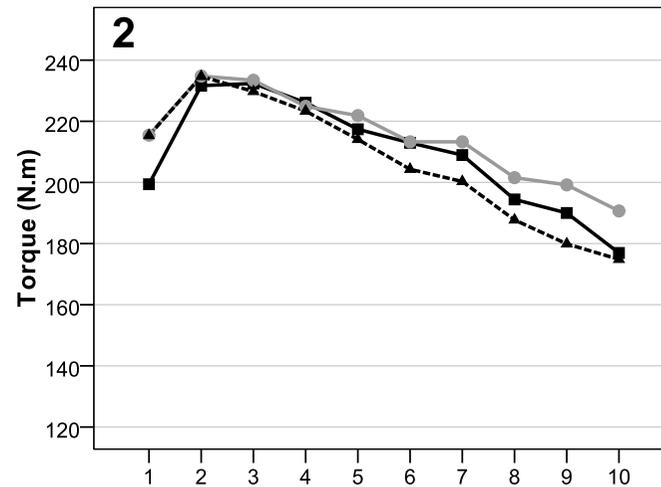
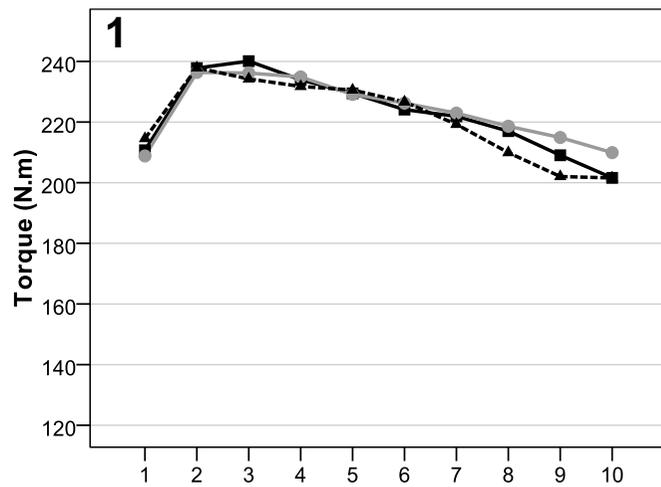
6.1 DESEMPENHO NO DINAMÔMETRO ISOCINÉTICO

6.1.1 Pico de torque e trabalho

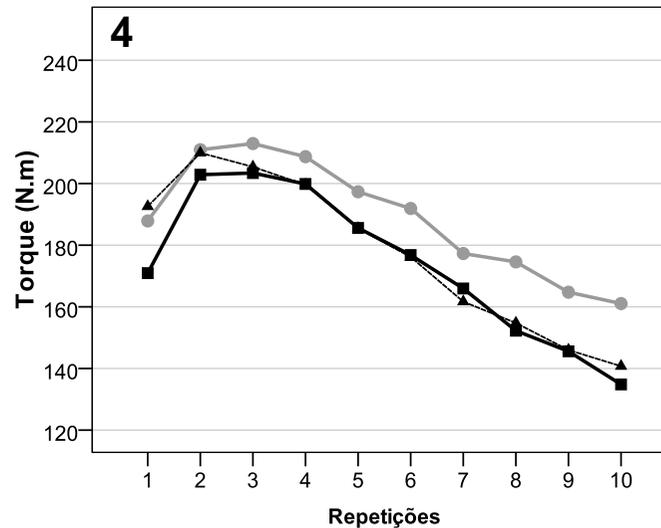
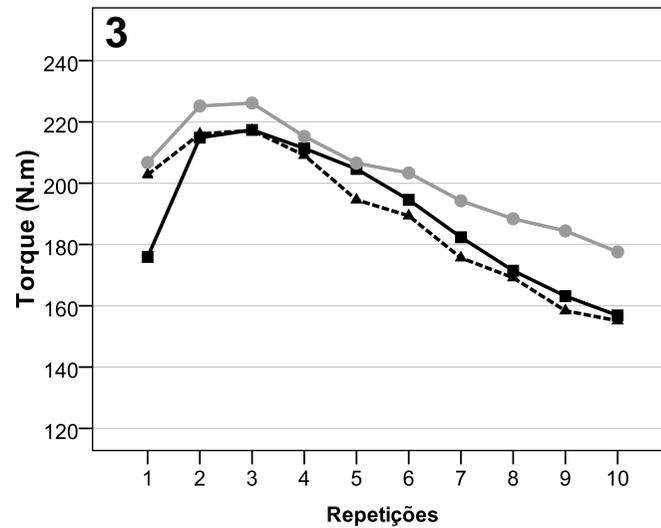
Nas Figuras 6 e 7 estão apresentados, respectivamente, os achados referentes ao torque e trabalho gerado nas repetições do exercício ao longo das 4 séries, em cada protocolo. Os decréscimos percentuais do torque e trabalho em cada protocolo estão apresentadas na Tabela 1.

Em relação ao torque gerado ao longo do exercício, não foram encontradas diferenças significantes entre os protocolos TRAD, CR e SS ($P=0,17$). A análise intra-grupos demonstrou que na modalidade TRAD, as quedas de força foram significantes entre as séries 1X3 ($P=0,009$), 1X4 ($P=0,000$) e 2X4 ($P=0,005$). As modalidades CR e SS apresentaram decréscimo apenas entre as séries 1X4 ($P=0,008$ e $P=0,004$, respectivamente).

Em relação ao trabalho gerado ao longo do exercício, foi encontrado um efeito significante entre protocolos ($P=0,04$), e a análise *post-hoc* demonstrou que o protocolo CR gerou maiores índices de trabalho na quarta série, quando comparado com o TRAD ($P=0,044$) (Figura 7). Quando os protocolos foram avaliados separadamente (análise intra-grupos), foram encontradas quedas significantes na geração de trabalho entre as séries 1X3, 1X4, 2X3 e 2X4 no protocolo TRAD (respectivamente, $P=0,000$ $P=0,000$; $P=0,04$ e $P=0,000$). Os protocolos CR e SS apresentaram diferenças entre as séries 1X3, 1X4 e 2X4 ($P<0,05$).



Protocolos
 — TRADICIONAL
 — RECIPROCO
 - - SUPERSERIE



Protocolos
 — TRADICIONAL
 — RECIPROCO
 - - SUPERSERIE

Figura 6. Torque (em N.m) gerado durante a realização dos protocolos de exercício (Os números de 1 a 4 indicam as respectivas séries).

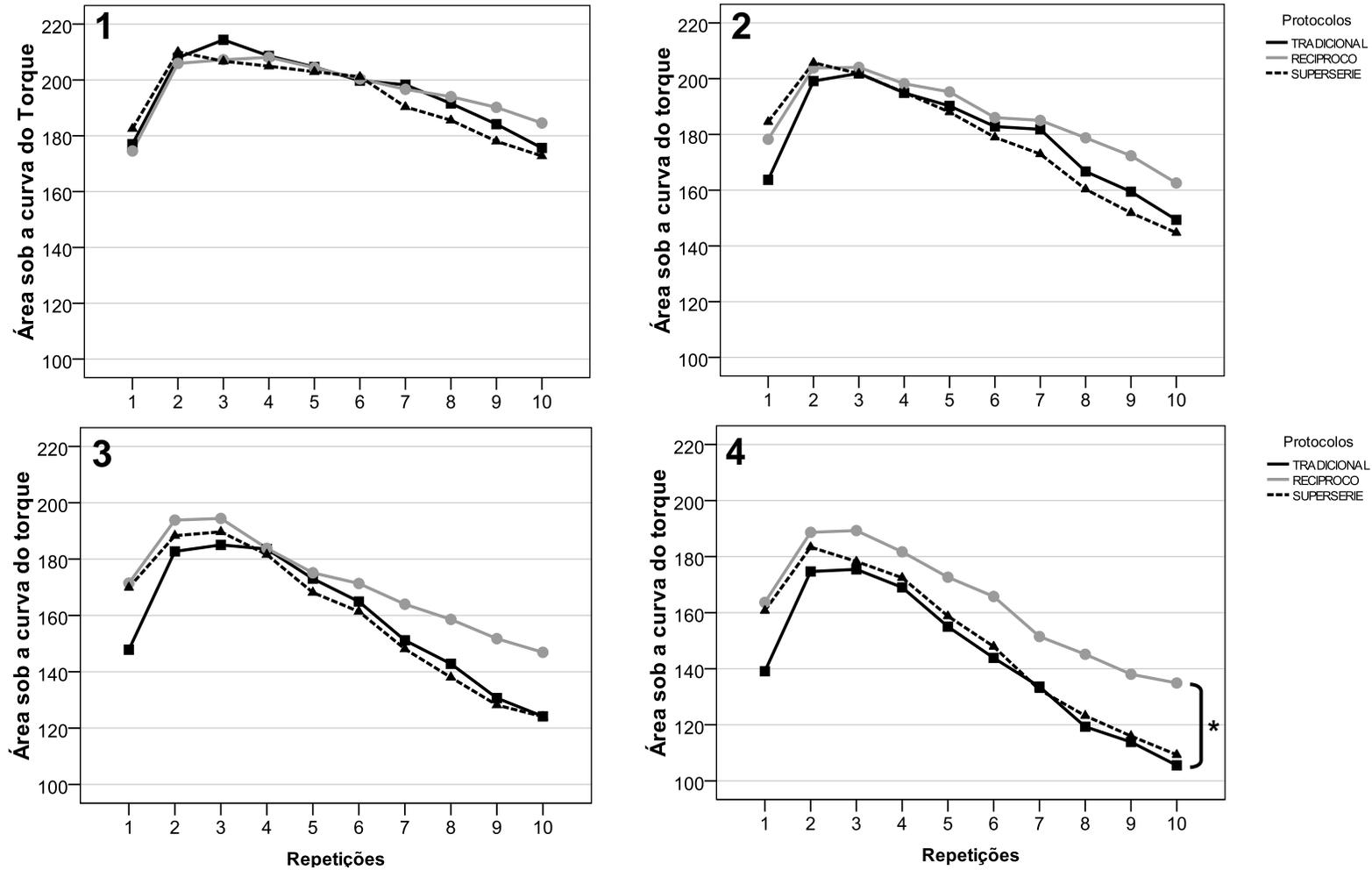


Figura 7. Trabalho (área sob a curva do torque, em J) gerado durante a realização dos protocolos de exercício. Os números de 1 a 4 indicam as respectivas séries (*Diferença significativa entre TRAD/CR: $P=0,044$).

Tabela 1. Torque e trabalho médio gerados em cada série (S1 a S4) nos protocolos de exercício. Os valores estão apresentados em relação à média \pm desvio-padrão. O $\Delta\%$ representa a queda percentual entre a S4 e a S1, para cada protocolo.

Torque (em N.m)					
	S1	S2	S3	S4	$\Delta\%$
TRAD	222,6 \pm 13,0	209,0 \pm 18,6	189,3 \pm 22,3†	173,8 \pm 24,5†‡	-22%
CR	223,8 \pm 10,5	214,8 \pm 14,5	202,8 \pm 16,6	188,7 \pm 19,0†	-15%
SS	220,8 \pm 13,3	206,4 \pm 20,7	188,7 \pm 23,1	177,2 \pm 25,2†	-20%
Trabalho (em J)					
	S1	S2	S3	S4	$\Delta\%$
TRAD	179,8 \pm 12,5	170,5 \pm 17,4	145,4 \pm 20,6†‡	131,0 \pm 23,3*†‡	-27%
CR	196,6 \pm 11,0	186,4 \pm 13,8	171,1 \pm 16,4†	163,1 \pm 20,2*†‡	-17%
SS	193,5 \pm 13,3	178,4 \pm 20,8	159,7 \pm 24,1†	148,2 \pm 26,7†‡	-23%

TRAD: Tradicional; SS: Supersérie; CR: Contração Recíproca

* Diferença significativa entre TRAD e CR: $P < 0,05$

† Menor que S1: $P < 0,05$; ‡ Menor que S2: $P < 0,05$

6.1.2 Tempo de duração da fase isocinética (TFI)

Os dados relativos ao TFI estão apresentados na Tabela 2. Não foram encontradas diferenças significantes no TFI entre os protocolos ($P=0,44$). Na análise intra-grupos os protocolos CR e SS mantiveram os mesmos valores do TFI entre as séries, entretanto, ao executarem o TRAD os indivíduos apresentaram quedas significantes entre séries (Tabela 2). Na Figura 8 estão apresentadas as retas de regressão linear entre o TFI e o número de repetições, para cada série de exercício realizado nos protocolos TRAD, CR e SS.

Por meio do procedimento de regressão, foi possível visualizar as influências do número de repetições de exercício no TFI em cada protocolo. Nota-se que durante o protocolo CR, os indivíduos foram capazes de manter o tempo da fase isocinética nas duas primeiras séries, e também atingiram menores quedas nas duas últimas, como demonstrado pelos menores ângulos na reta de regressão. Apesar da SS ter mantido o TFI ao longo das 4 séries, a sua queda foi a maior principalmente na quarta série, em comparação aos outros protocolos, como evidenciado pelo ângulo da reta de regressão (Figura 8).

Tabela 2. Tempo de duração da fase isocinética (TFI) no protocolo tradicional (TRAD), contração recíproca (CR) e supersérie (SS), ao longo de 4 séries (S1 a S4) com 10 repetições (Rep). Os valores estão apresentados em relação à média \pm desvio-padrão.

		TFI (em segundos)									
		Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep5	Rep6	Rep7	Rep8	Rep9	Rep10
TRAD	S1	1,00 \pm 0,11	1,03 \pm 0,13	1,06 \pm 0,12	1,05 \pm 0,13	1,05 \pm 0,12	1,03 \pm 0,13	1,04 \pm 0,14	1,03 \pm 0,14	1,04 \pm 0,15	1,03 \pm 0,13
	S2	0,95 \pm 0,17	1,03 \pm 0,13	1,03 \pm 0,14	1,03 \pm 0,15	1,06 \pm 0,13	1,03 \pm 0,14	1,03 \pm 0,14	1,04 \pm 0,13	1,01 \pm 0,13	1,01 \pm 0,12
	S3*	0,97 \pm 0,17	1,02 \pm 0,15	1,02 \pm 0,14	1,03 \pm 0,14	1,01 \pm 0,16	1,03 \pm 0,12	0,98 \pm 0,13	0,99 \pm 0,13	0,93 \pm 0,16	0,92 \pm 0,17
	S4*‡	0,95 \pm 0,17	1,03 \pm 0,13	1,04 \pm 0,11	1,02 \pm 0,12	1,01 \pm 0,12	0,99 \pm 0,13	0,94 \pm 0,13	0,92 \pm 0,13	0,89 \pm 0,16	0,86 \pm 0,16
CR	S1	0,97 \pm 0,15	1,03 \pm 0,14	1,03 \pm 0,16	1,03 \pm 0,15	1,04 \pm 0,16	1,04 \pm 0,14	1,04 \pm 0,15	1,04 \pm 0,15	1,04 \pm 0,14	1,03 \pm 0,14
	S2	0,99 \pm 0,15	1,03 \pm 0,15	1,03 \pm 0,16	1,04 \pm 0,16	1,04 \pm 0,13	1,02 \pm 0,15	1,02 \pm 0,15	1,05 \pm 0,12	1,02 \pm 0,12	1,01 \pm 0,14
	S3	1,02 \pm 0,13	1,03 \pm 0,15	1,05 \pm 0,14	1,03 \pm 0,16	1,03 \pm 0,15	1,02 \pm 0,14	1,02 \pm 0,14	1,01 \pm 0,13	0,98 \pm 0,14	0,99 \pm 0,15
	S4	1,02 \pm 0,12	1,05 \pm 0,14	1,05 \pm 0,13	1,03 \pm 0,14	1,03 \pm 0,13	1,02 \pm 0,13	1,00 \pm 0,11	0,97 \pm 0,13	0,98 \pm 0,12	0,96 \pm 0,13
SS	S1	1,01 \pm 0,12	1,06 \pm 0,12	1,07 \pm 0,10	1,06 \pm 0,10	1,06 \pm 0,10	1,05 \pm 0,10	1,04 \pm 0,11	1,05 \pm 0,09	1,04 \pm 0,10	1,03 \pm 0,08
	S2	1,04 \pm 0,12	1,05 \pm 0,12	1,06 \pm 0,10	1,07 \pm 0,11	1,07 \pm 0,10	1,06 \pm 0,10	1,06 \pm 0,10	1,03 \pm 0,09	1,03 \pm 0,10	0,98 \pm 0,12
	S3	1,02 \pm 0,11	1,05 \pm 0,09	1,06 \pm 0,09	1,04 \pm 0,10	1,05 \pm 0,08	1,04 \pm 0,08	1,03 \pm 0,08	0,97 \pm 0,14	0,96 \pm 0,10	0,94 \pm 0,11
	S4	1,01 \pm 0,11	1,07 \pm 0,08	1,06 \pm 0,09	1,04 \pm 0,09	1,04 \pm 0,09	1,02 \pm 0,10	0,96 \pm 0,11	0,94 \pm 0,14	0,90 \pm 0,15	0,89 \pm 0,13

Diferenças significantes entre as séries, no protocolo TRAD:

* menor do que S1 ($P < 0,05$);

‡ menor do que S2 ($P < 0,05$).

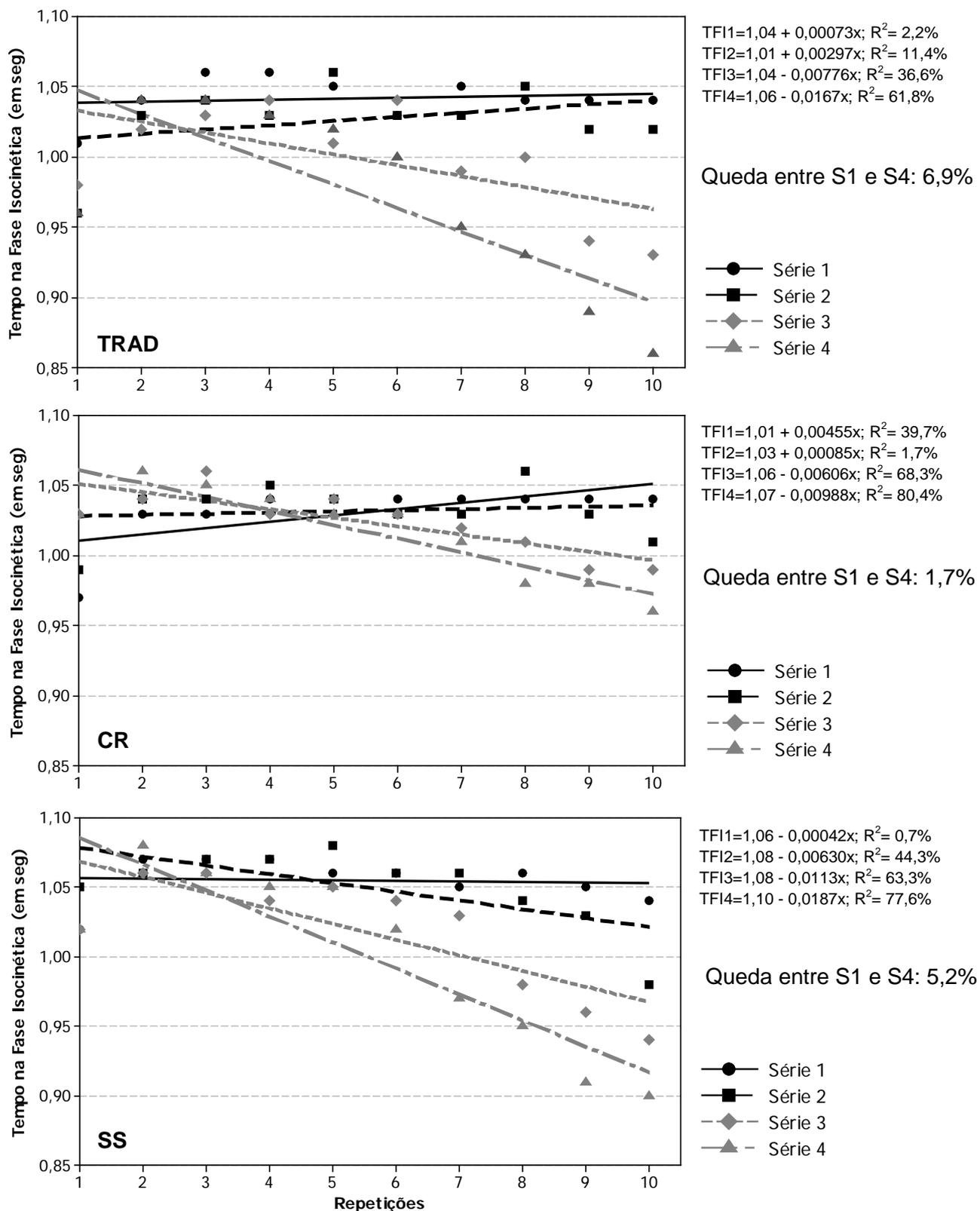


Figura 8. Regressão linear referente ao tempo de duração da fase isocinética (TFI) durante a realização dos protocolos nas 4 séries (TRAD: tradicional; CR: contração recíproca e SS: supersérie). À direita estão apresentadas as equações de regressão de cada série (TFI1 a TFI4).

6.1.3 Taxa de desenvolvimento de aceleração (TDA)

Na Figura 9 estão ilustrados os padrões da TDA para cada protocolo de exercício. Não houve nenhum efeito das modalidades de exercício no tempo de aceleração, e não foram encontradas diferenças significantes entre séries, em cada protocolo ($P>0,05$). Deste modo, a Figura 9 ilustra a média entre as 4 séries de exercício para cada protocolo.

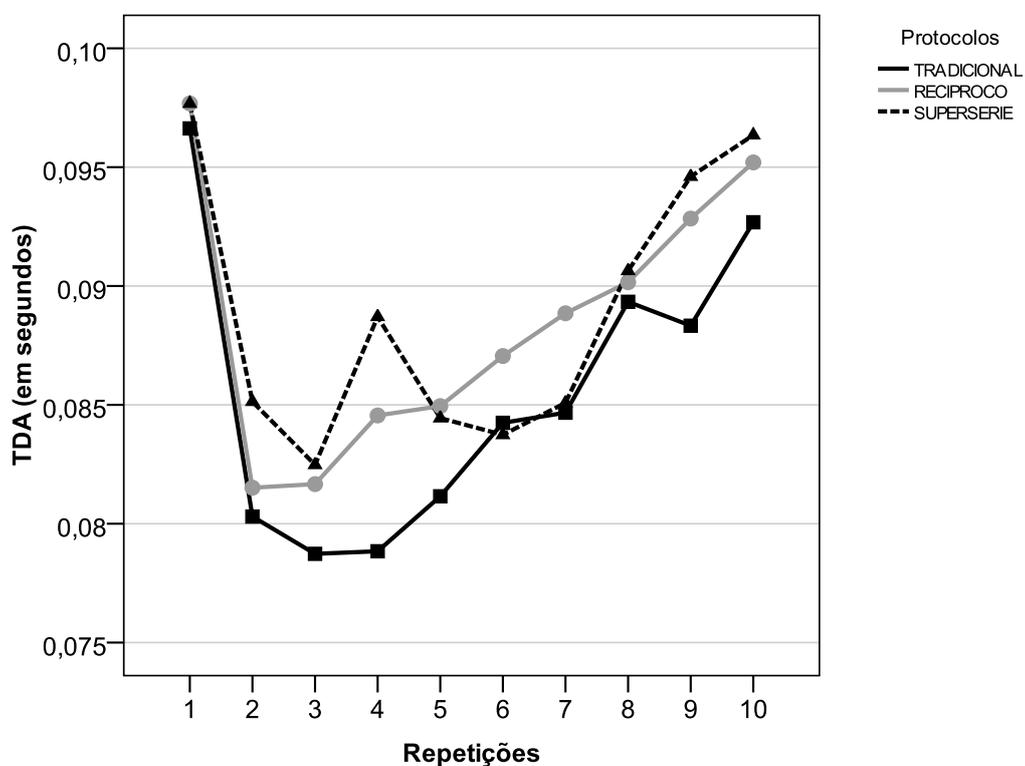


Figura 9. Taxa de desenvolvimento de aceleração (TDA). O gráfico representa a média das séries para cada protocolo, considerando que não houve diferença significativa entre as mesmas.

6.2 DESEMPENHO NEUROMUSCULAR

6.2.1 Ativação muscular

Os valores referentes à ativação do músculo VM estão apresentados na Tabela 3. A análise da ativação eletromiográfica durante a realização dos protocolos demonstrou não haver diferenças entre o CR, SS e TRAD, em nenhuma das séries ($P=0,60$). Também não foram encontradas diferenças significantes na ativação do VM entre as 4 séries de exercício ($P=0,66$; $P=0,85$ e $P=0,87$ para o TRAD, CR e SS, respectivamente). Entretanto, os valores do RMS foram influenciados por uma interação significativa entre repetições e os protocolos ($P=0,015$), como demonstrado pelas diferenças apontadas na Tabela 3. Foi possível notar que no protocolo CR houve aumentos significativos concentrados nas três primeiras repetições, mas que se mantiveram até o final, ao contrário dos protocolos TRAD e SS que apresentaram aumentos até a 4ª e 5ª repetição, respectivamente.

Em relação às taxas de co-ativação do músculo BF ao longo do exercício, não foram encontradas diferenças significantes entre os protocolos CR, SS e TRAD ($P=0,063$). Também foi possível observar que não houve diferenças entre as séries de exercício tanto para o TRAD ($P=0,99$), CR ($P=0,91$) e SS ($P=0,94$). Com base nisso, a Figura 10 apresenta o padrão de co-ativação do BF, considerando-se a média das séries em cada protocolo. Entretanto, foi encontrada uma interação significativa demonstrando que a co-ativação do BF foi influenciada pelo número de repetições do exercício ($P=0,000$). Este achado demonstra que houve diminuições significantes da co-ativação do BF nos protocolos SS e CR, como indicado na Figura 10.

Tabela 3. Ativação eletromiográfica do músculo VM durante a realização dos protocolos de exercício (TRAD: tradicional; CR: contração recíproca e SS: supersérie), ao longo de 4 séries (S1 a S4) com 10 repetições (Rep). Valores do RMS expressos em % da CIVM (média ± desvio-padrão).

		RMS (% da CIVM)									
		Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep5	Rep6	Rep7	Rep8	Rep9	Rep10
TRAD	S1	92,3 ± 23,0	105,6 ± 22,3‡	111,0 ± 22,6†	115,1 ± 25,6#	120,4 ± 26,4	121,3 ± 28,5	122,5 ± 22,4	119,9 ± 26,1	119,2 ± 28,2	118,2 ± 26,1*
	S2	83,6 ± 28,8	96,3 ± 27,1‡	104,3 ± 22,0†	109,7 ± 23,7#	112,4 ± 24,9	116,8 ± 24,4	116,8 ± 24,4	121,7 ± 25,3	122,9 ± 28,3	119,8 ± 30,8*
	S3	85,8 ± 26,3	93,2 ± 25,0‡	98,2 ± 25,0†	103,5 ± 25,7#	107,8 ± 25,3	111,1 ± 27,9	114,0 ± 27,1	116,5 ± 28,8	112,8 ± 28,0	112,4 ± 35,1*
	S4	92,6 ± 29,5	95,4 ± 22,7‡	98,3 ± 23,0†	106,8 ± 29,9#	108,4 ± 28,0	111,3 ± 30,4	114,3 ± 32,4	116,5 ± 36,6	113,3 ± 35,5	115,4 ± 39,7*
CR	S1	90,3 ± 23,0	100,3 ± 25,0‡	108,6 ± 22,3†	111,9 ± 27,7	114,8 ± 25,6	115,6 ± 22,1	113,7 ± 25,1	113,6 ± 27,0	114,5 ± 25,9	114,8 ± 24,9*
	S2	77,8 ± 18,6	91,0 ± 23,6‡	98,1 ± 23,9†	102,7 ± 25,4	109,5 ± 26,6	111,4 ± 25,8	111,4 ± 25,8	112,3 ± 26,5	111,9 ± 31,5	112,9 ± 31,7*
	S3	89,6 ± 24,7	100,5 ± 23,1‡	104,0 ± 24,9†	107,0 ± 21,4	110,4 ± 22,9	112,8 ± 24,5	114,4 ± 28,4	111,4 ± 28,1	112,3 ± 29,7	108,3 ± 28,3*
	S4	84,9 ± 23,7	98,1 ± 26,2‡	104,9 ± 27,0†	105,3 ± 26,2	107,3 ± 23,7	111,0 ± 29,2	110,1 ± 25,0	110,5 ± 31,6	110,6 ± 31,8	108,1 ± 30,5*
SS	S1	90,6 ± 28,6	102,1 ± 29,6‡	109,0 ± 31,7†	115,5 ± 30,5#	119,7 ± 28,4•	124,9 ± 32,9	123,7 ± 31,2	119,7 ± 29,2	118,0 ± 31,8	115,6 ± 34,4*
	S2	87,6 ± 25,9	100,4 ± 31,9‡	103,0 ± 28,8†	107,4 ± 27,9#	113,0 ± 31,4•	114,4 ± 33,5	114,4 ± 33,5	115,8 ± 35,1	115,8 ± 34,5	110,6 ± 30,8*
	S3	88,6 ± 28,2	95,8 ± 29,6‡	103,6 ± 28,3†	111,2 ± 33,8#	112,5 ± 33,7•	115,4 ± 33,8	115,2 ± 34,2	113,9 ± 28,9	108,7 ± 29,4	110,0 ± 30,8*
	S4	94,8 ± 28,5	100,9 ± 28,1‡	106,1 ± 30,3†	109,9 ± 26,7#	117,6 ± 31,8•	117,3 ± 29,5	117,1 ± 27,4	115,7 ± 29,5	116,6 ± 29,4	112,1 ± 30,3*
TRAD - Diferenças significantes: *Rep 10 → Rep1, Rep2, Rep3, Rep4 (P=0,000). ‡Rep1 → Rep2: P=0,000 †Rep2 → Rep3: P=0,000 #Rep3 → Rep4: P=0,000				CR - Diferenças significantes: *Rep 10 → Rep1, Rep2, Rep3 (P=0,000). ‡Rep1 → Rep2: P=0,000 †Rep2 → Rep3: P=0,000				SS - Diferenças significantes: *Rep 10 → Rep1, Rep2, Rep3, Rep4, Rep 5 (P=0,000). ‡Rep1 → Rep2: P=0,000 †Rep2 → Rep3: P=0,000 #Rep3 → Rep4: P=0,000 •Rep4 → Rep5: P=0,000			

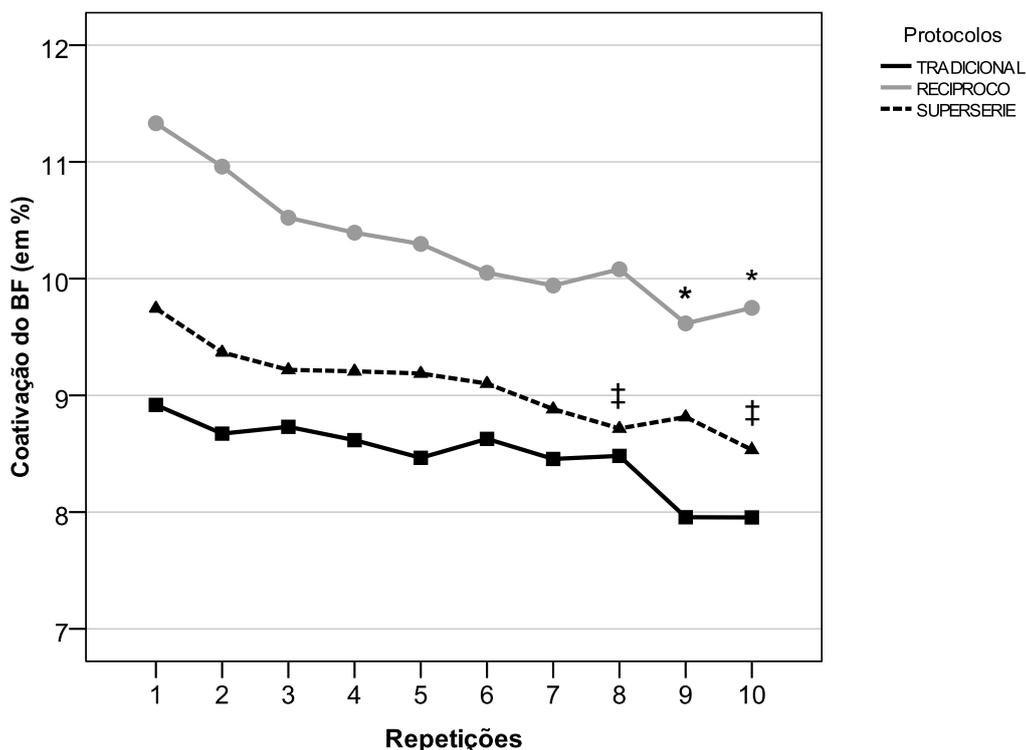


Figura 10. Co-ativação do músculo bíceps femoral (Eq. 1) na fase de extensão do joelho, durante a realização dos protocolos de exercício. Os valores representam a média entre as 4 séries, considerando que não houve diferença significativa entre as séries, em cada protocolo (Diferenças significantes: menor que a repetição 1: * $P < 0,02$; ‡ $P = 0,01$).

6.2.2 índice de fadiga muscular

Os achados referentes aos índices de fadiga muscular durante a realização dos protocolos TRAD, CR e SS estão ilustrados na Figura 11. A análise demonstrou que os indivíduos fadigaram mais o músculo VM quando foram submetidos ao protocolo SS, evidenciado pelo teste *post-hoc* que apontou diferenças significantes entre o CR/SS ($P = 0,024$) e TRAD/SS

($P=0,001$). Não houve diferença significativa entre as séries, em cada protocolo ($P=0,06$). Entretanto, foi encontrada uma interação significativa demonstrando que a fadiga foi influenciada ao longo das repetições ($P=0,000$), sendo possível verificar aumentos significantes da fadiga na SS desde a 4ª repetição do exercício (Figura 11). Por meio da Figura 12, também é possível notar que os indivíduos foram expostos a um aumento mais intenso da fadiga no protocolo SS, tendo como base o maior ângulo de inclinação da reta de regressão, em comparação ao CR e TRAD.

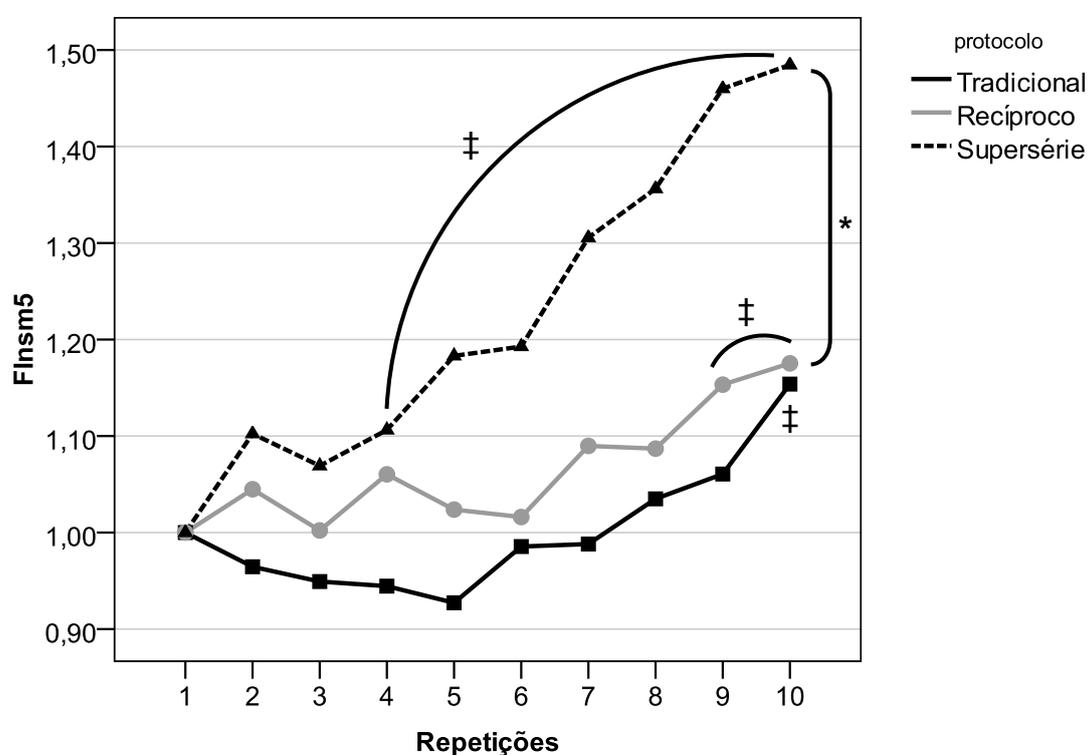


Figura 11. Índice de Fadiga (valores em porcentagem, x100) gerado durante a realização dos protocolos. As curvas representam a média entre as séries, considerando que não houve diferença significativa entre as mesmas, em cada protocolo (*Diferenças significantes entre CR/SS: $P=0,024$; e TRAD/SS: $P=0,001$; ‡maior que a primeira repetição: $P=0,000$).

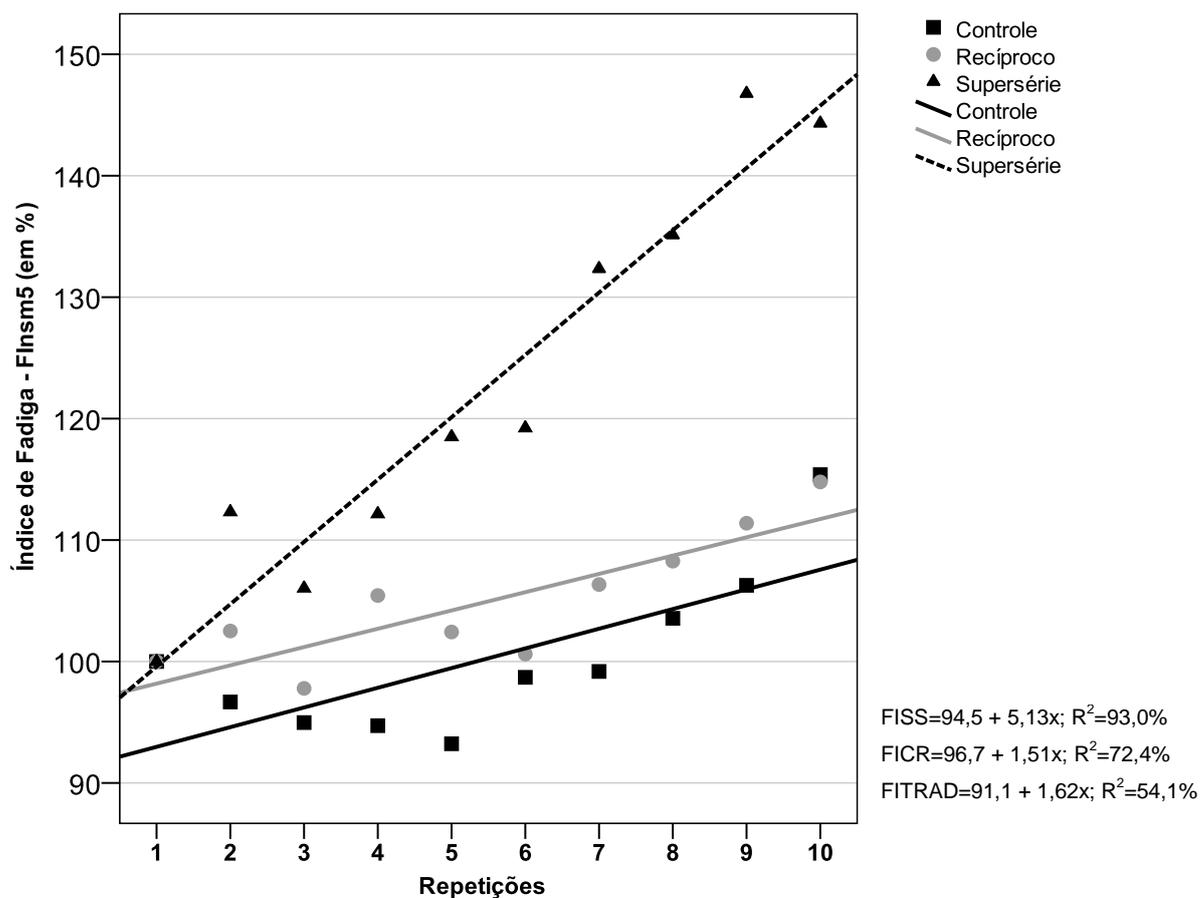


Figura 12. Regressão linear referente ao índice de fadiga (FI_{nsm5}) durante a realização dos protocolos (TRAD: tradicional; CR: contração recíproca e SS: supersérie). À direita estão apresentadas as equações de regressão por protocolo, considerando que não houve diferença entre as séries (FISS: supersérie; FICR: contração recíproca; FITRAD: tradicional).

6.3 ESFORÇO FÍSICO PERCEBIDO

Os achados da escala OMNI estão apresentados na Figura 13. Foram encontrados aumentos significantes da percepção de esforço ao longo das 4 séries de exercício, em todos os protocolos ($P < 0,001$). Entretanto, os sujeitos apresentaram a mesma percepção de esforço físico durante a realização dos protocolos TRAD, CR e SS ($P > 0,05$).

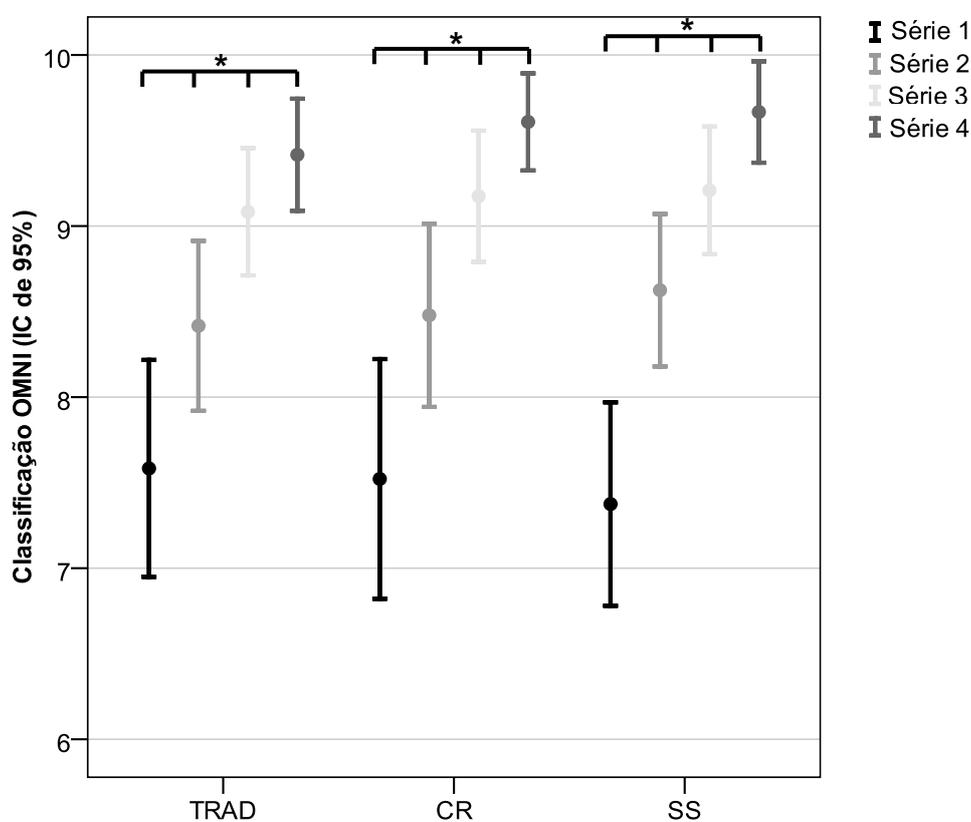


Figura 13. Percepção de esforço físico (OMNI) nos protocolos tradicional (TRAD), contração recíproca (CR) e supersérie (SS), nas 4 séries de exercício (*Diferenças significantes entre as séries; $P < 0,05$).

6.4 NÍVEIS DE LACTATO SANGUÍNEO

Os achados referentes à concentração de lactato sanguíneo mensurados antes e depois da realização dos protocolos CR, TRAD e SS estão ilustrados na Figura 14. As análises demonstraram uma interação significativa entre as medidas de lactato e os protocolos ($P=0,004$). O teste *post-hoc* indicou que o protocolo SS apresentou maiores concentrações sanguíneas de lactato quando comparado com o CR e o TRAD ($P=0,005$ e $P=0,007$ respectivamente).

A análise intra-protocolos demonstrou diferenças nas concentrações de lactato ao longo das medidas. Especificamente, todos os protocolos apresentaram aumentos significantes entre a medida de repouso e imediatamente após o término dos exercícios ($P=0,000$ para o TRAD, CR e SS). Do mesmo modo, foram encontrados aumentos na concentração de lactato entre o momento imediatamente após e 3 minutos, para todos os protocolos ($P=0,003$; $P=0,005$; $P=0,001$ para respectivamente o TRAD, CR e SS). Entretanto, apenas o protocolo CR apresentou um aumento significativo nas concentrações entre os momentos 3 e 5 minutos-pós exercício ($P=0,015$). O protocolo TRAD e SS mantiveram os níveis de lactato entre os momentos 3 e 5 minutos (respectivamente, $P=0,56$ e $P=0,59$) (Figura 14).

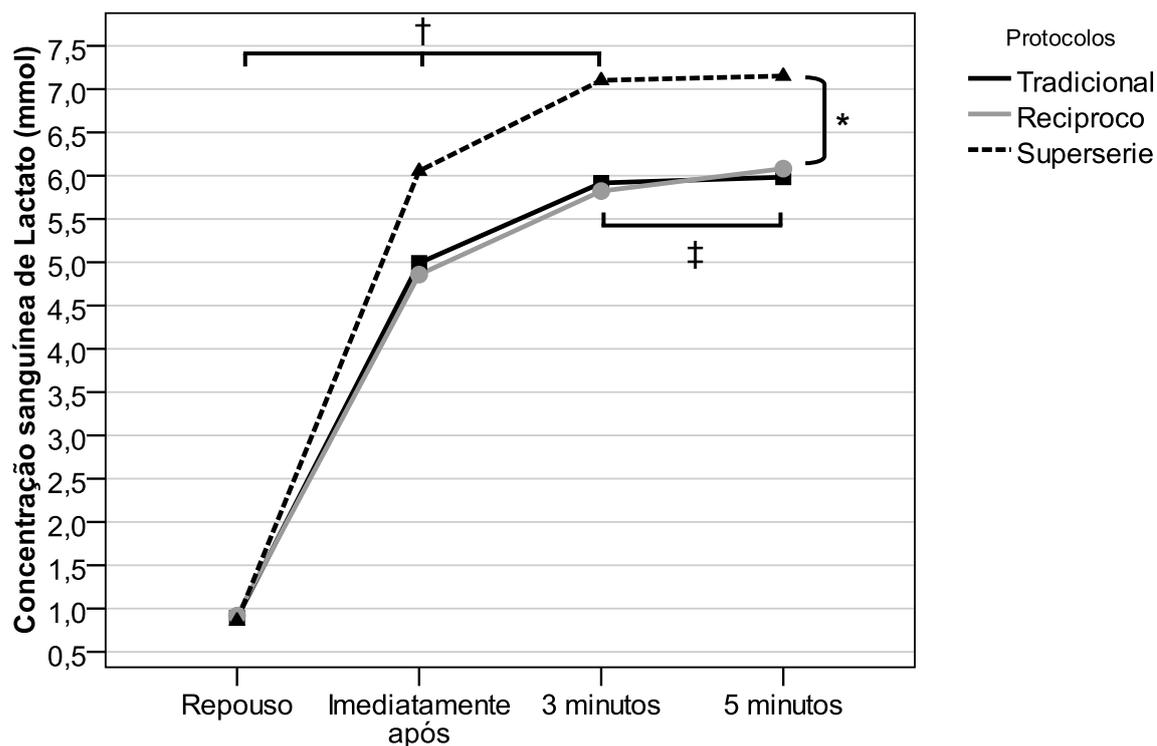


Figura 14. Níveis sanguíneos de lactato mensurados em 4 momentos: (a) Repouso; (b) Imediatamente após a realização dos protocolos; (c) 3 minutos e (d) 5 minutos após o término dos exercícios (*Diferença significativa entre os protocolos CR/SS: $P=0,005$ e TRAD/SS: $P=0,007$; †Diferença significativa entre os momentos, para todos os protocolos: $P<0,05$; ‡Diferença significativa entre o momento 3 e 5 minutos, apenas no protocolo CR: $P=0,015$).

7. DISCUSSÃO

O presente estudo levantou a hipótese de que três diferentes modalidades de pré-ativação dos músculos antagonistas (flexores do joelho) influenciariam o desempenho dos músculos agonistas (extensores do joelho). Para tal, o desempenho foi interpretado com base nos domínios dos instrumentos utilizados, dentre os quais: desempenho isocinético (capacidade de gerar força e trabalho, TDA e TFI) e desempenho neuromuscular (nível de ativação e fadiga do agonista [vasto medial], e co-ativação antagonista [bíceps femoral]). A comparação entre as três modalidades demonstrou taxas similares de força extensora. Entretanto, a modalidade CR propiciou maior capacidade de trabalho, sendo estatisticamente superior à modalidade TRAD na 4ª série de exercício. A hipótese de que a TDA seria menor no protocolo CR foi refutada, considerando-se que não houve diferença entre as 3 modalidades. Entretanto, os achados do TFI foram interessantes. Mesmo considerando que não houve diferença significativa entre protocolos, na modalidade CR os indivíduos foram capazes de manter o mesmo tempo da fase ao longo das séries, além de terem apresentado menores quedas em comparação aos outros protocolos. Este achado pode representar um melhor aproveitamento da resistência imposta ao longo da amplitude de movimento na modalidade CR. Em relação ao desempenho neuromuscular, verificou-se que os protocolos apresentaram o mesmo nível de ativação muscular. Por outro lado, confirmamos parcialmente a hipótese de que o protocolo CR apresentaria menores índices de fadiga, ao verificar que o músculo VM demonstrou maior fadiga no protocolo SS quando comparado ao CR, mas também ao TRAD. Outro achado interessante foi a maior concentração de lactato sanguíneo no protocolo SS em comparação ao CR e TRAD.

Ao contrário do preconizado por Maynard e Ebben²¹, foram encontradas diferenças significantes quanto ao torque extensor do joelho em resposta as três modalidades de pré-ativação antagonista. De acordo com os achados de Maynard e Ebben²¹, há um efeito deletério da pré-carga dos músculos antagonistas, traduzidos por níveis de torque aproximadamente 4% menores do que em uma condição controle (exercício de extensão do joelho sem pré-

ativação antagonista). Neste estudo, foi utilizado um protocolo de “pré-fadiga” com 1 série de 5 repetições máximas dos músculos flexores, seguido imediatamente por 5 repetições máximas dos extensores a $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ (modalidade SS). Ao que parece, a menor produção de força agonista foi atribuída a um aumento da co-ativação dos músculos flexores. Entretanto, existem limitações na comparação com o estudo de Maynard e Ebben²¹, principalmente pelo fato dos autores terem usado série simples com apenas 5 repetições. Outro aspecto foi a comparação da SS com uma modalidade controle. No presente estudo, as comparações foram realizadas com uma modalidade tradicional, que também apresentou pré-ativação flexora. É possível que o protocolo de pré-ativação proposto pelos autores não tenha sido suficiente para elicitar uma real “pré-fadiga”. Em verdade, por não terem adotado um período de familiarização, os músculos flexores podem ter sido influenciados por um efeito de aprendizagem^{69,70}, fato este que pode ter sido responsável pelos efeitos deletérios no desempenho dos agonistas.

O estudo de Beltman et al.⁷¹ também teve por objetivo avaliar a influência da fadiga dos isquiotibiais na capacidade de força agonista (quadríceps). Os autores adotaram um período de familiarização e a pré-fadiga flexora foi imposta por um protocolo com 2 séries de flexão do joelho a $180^{\circ} \cdot s^{-1}$, no qual as repetições foram realizadas até o torque flexor atingir um valor de 50% do torque da primeira repetição. Ao que parece, a co-ativação do músculo bíceps femoral se manteve constante, mesmo em uma condição de fadiga. Além disso, os achados demonstraram que essa pré-fadiga flexora não influenciou deletериamente o torque agonista, ao contrário de Maynard e Ebben²¹. Entretanto, as comparações com Beltman et al.⁷¹ devem ser vistas com cautela, considerando que o torque agonista foi avaliado durante uma CIVM. Robbins et al.²⁴ também não encontraram diferenças no desempenho entre a modalidade SS e uma modalidade tradicional (nos moldes da TRAD). Neste estudo os autores não avaliaram o torque, mas verificaram que a potência e o trabalho foram os mesmos entre as modalidades e relataram que uma vantagem da SS é o menor tempo da sessão, o que representa maior eficiência. Apesar de não terem avaliado a modalidade CR, os argumentos de eficiência também se aplicam. Entretanto, Robbins e colaboradores não recomendam o uso de uma pré-carga antagonista como potencializador do

agonista. Em estudo prévio do nosso grupo²⁵, verificou-se que a produção de torque do agonista também foi a mesma entre as modalidades de pré-ativação, porém, verificou-se que o CR gerou uma maior capacidade de trabalho do que a SS, contrariando a recomendação de Robbins e colaboradores²⁴. Além disso, tal recomendação também é contrariada pelos achados de Baker e Newton²², os quais relataram resultados positivos da pré-ativação antagonista, caracterizados por aumentos da capacidade agonista em gerar potência após uma intervenção com uma série de 8 repetições máximas do exercício de remada sentado nos moldes da supersérie. Os autores explicam os ganhos de 4,7% por meio do aumento da taxa de disparo muscular dos músculos agonistas, causada por uma estimulação neural influenciada pela ação prévia dos antagonistas (denominada potenciação pós-ativação). Do mesmo modo, Spreuwenberg et al.⁷² também atribuem um efeito facilitador do agonista como resultado de uma potenciação pós-ativação advindo da contração antagonista. É possível supor que essa estratégia neural tenha ocorrido no nosso estudo e explique em parte a ausência de diferença na geração de força entre as três modalidades de pré-ativação. Todavia, as comparações devem ser feitas com cautela, pois Baker e Newton²² adotaram um treinamento de potência (caracterizado por movimentos “explosivos”) e avaliaram os membros superiores, que podem ter uma especificidade diferente do que a de exercícios nos membros inferiores, como as do presente estudo.

Mesmo apesar da ausência de significância estatística na geração de força entre protocolos, foram encontradas no presente estudo menores quedas percentuais na modalidade CR (Tabela 1). Esta é uma observação prática importante, pois diferenças variando entre 5% a 7% entre os protocolos CR/SS e CR/TRAD, respectivamente, podem representar benefícios para um atleta ou indivíduo que está em processo de reabilitação e necessitam de força para realizar uma atividade específica. Assim, estes resultados apontam para desfechos mais interessantes com a utilização da modalidade CR. De fato, Roy et al.²⁹, Burke et al.³⁰ e Jeon et al.³² sugerem que as vantagens advindas de contrações recíprocas se devem a estímulos facilitatórios dos órgãos tendinosos de golgi (OTG) dos músculos flexores e dos fusos musculares dos extensores, atribuídas à flexão prévia. Os achados de Roy e colaboradores²⁹ demonstraram que a modalidade recíproca tende a gerar um maior torque dos

extensores do joelho, o que poderia embasar as menores quedas de força e trabalho na modalidade CR. Ao que parece, tal resposta seria explicada por um evento neuromuscular causado pela ação do músculo flexor, que ativaria os OTGs e sua rede de motoneurônios, enquanto que, concomitantemente, os fusos musculares dos extensores (alongados) levariam a uma facilitação e melhor desempenho na contração subsequente. Kisner e Colby³³ também sugerem que durante a ativação concêntrica do agonista, o antagonista apresenta uma inibição recíproca que permite seu relaxamento e que, conseqüentemente, pode facilitar a ação do agonista. Essa resposta também pode representar benefícios durante a realização de exercícios com séries múltiplas, no sentido de que a inibição recíproca possa diminuir a suscetibilidade à fadiga muscular ao longo das repetições e favorecer a manutenção de níveis adequados de torque e trabalho ao longo da sessão de exercício. É provável que a característica aguda do presente estudo não tenha sido suficiente para gerar adaptações na geração de força, e também explique a ausência de diferenças na TDA. Ao que parece, a TDA é mediada por respostas neurais como o aumento do recrutamento de motoneurônios, entretanto, aumentos de aproximadamente 10 a 15% dessa variável foram verificados apenas após um período de treinamento de 14 semanas, em um total de 38 sessões⁷³. A velocidade adotada no presente estudo também pode não ter favorecido os achados da TDA. A resposta dos elementos contráteis do músculo poderia ser exacerbada em velocidades ao redor de 180 a 300°.s⁻¹ e, conseqüentemente, a energia elástica acumulada durante as modalidades de exercício²⁸ poderiam ter potencializado algum efeito na TDA. Por outro lado, os indícios a respeito do torque são favoráveis à modalidade CR, mesmo em uma condição aguda, e devem ser confirmados em estudos longitudinais.

Em relação ao trabalho, a hipótese de que a CR seria mais eficiente foi parcialmente confirmada, considerando que foram encontradas diferenças significantes apenas em comparação ao protocolo TRAD. As quedas percentuais da CR foram da ordem de 17%, ao contrário da SS (23%) e TRAD (27%), demonstrando que o trabalho gerado por três modalidades de exercício resistido em condições controladas de velocidade, intensidade e número de séries podem impor desfechos importantes advindos da ordem de pré-ativação do antagonista. Este achado aponta para as implicações práticas destacadas por

Munn et al.⁷⁴ e Kelly et al.⁷⁵, os quais afirmam que aumentos na capacidade de trabalho podem determinar ganhos importantes de força durante o exercício resistido. Tran e Docherty⁷⁶ demonstraram que o volume do exercício também pode ser expresso tanto pela multiplicação das repetições pela carga utilizada, quanto pelo tempo sob tensão durante a contração muscular. Quanto maior o tempo sob tensão, maior os efeitos deletérios no processo de excitação- contração das fibras musculares e, por conseguinte, maior a intensidade da fadiga periférica. Apesar do tempo sob tensão no nosso estudo ter sido o mesmo nas 3 modalidades (exercício isocinético), é possível supor com base nos resultados do tempo de duração da fase isocinética que o protocolo CR tenha sido mais eficiente do que o TRAD e o SS, corroborando os mecanismos propostos por Roy et al.²⁹ e Jeon et al.³², os quais afirmam que a pré-ativação na modalidade CR têm efeito positivo nos músculos agonistas. Ainda, Brown et al.⁷⁷ mostram que a resistência ideal oferecida durante o exercício isocinético requer o alcance da velocidade, demonstrando que o potencial para ganhos de força pode ser proporcional à amplitude de movimento em que de fato a fase isocinética é sustentada, confirmando que a modalidade CR parece ser mais vantajosa.

No presente estudo não foram encontradas diferenças na ativação eletromiográfica do VM entre os protocolos. Este achado corrobora Robbins et al.²⁴, os quais também não encontraram diferenças de ativação entre a SS e o método tradicional durante o exercício com três séries. Entretanto, um aspecto deve ser destacado: no estudo de Robbins e colaboradores²⁴, os exercícios utilizados foram a remada e puxada sentada (membros superiores), o que pode impor limitações na comparação com o presente estudo. De acordo com os autores, o músculo monitorado (latíssimo do dorso) apresenta maior concentração de fibras tipo I (mais resistentes à fadiga). O protocolo adotado foi submáximo e caracterizado por 3 séries de 4 repetições e foi intencionalmente criado para não gerar fadiga. Deste modo, Robbins e colaboradores²⁴ acreditam que o protocolo não tenha sido suficiente para demonstrar efeitos na amplitude EMG. Nosso protocolo foi mais intenso do que o adotado no estudo de Robbins e colaboradores, e proporcionou a geração de força máxima dos participantes. Este aspecto foi confirmado pelos achados da escala OMNI, que demonstrou aumentos significativos do esforço gerado ao

longo das séries. Na análise intra-protocolos, nós verificamos aumentos significantes da RMS nas fases iniciais do exercício, que foram próximos aos níveis do estudo de Hassani et al.⁴⁶. Entretanto, a ausência de diferença na ativação eletromiográfica do VM entre protocolos poderia ser explicada, pelo menos em parte, pela adoção de um intervalo de recuperação entre séries. Os achados de Parcell et al.⁶⁶ mostraram que um intervalo de recuperação de 1 minuto foi suficiente para promover a recuperação da força dos participantes. Por outro lado, Touey et al.⁷⁸ demonstraram que o intervalo de 1 minuto adotado em protocolo com 4 séries de 10 repetições a $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ (como no nosso estudo) não foi suficiente para evitar manifestações de fadiga, traduzidas pela queda de força e trabalho. Esta variação entre os estudos de Parcell⁶⁶ e Touey⁷⁸ pode ser explicada pelo fato de que no estudo de Parcell e colaboradores⁶⁶ o protocolo adotado foi de 4 séries com 4 repetições. Assim, os resultados referentes ao RMS poderiam ter sido mais pronunciados caso tivéssemos adotado um protocolo específico de fadiga (sem intervalo entre séries ou séries com mais repetições)^{46,53}. Entretanto, mesmo com o intervalo de recuperação de um minuto encontramos manifestações de fadiga e confirmamos a hipótese com base na análise da F_{Insm5} . Tradicionalmente, é aceito que com o desenvolvimento da fadiga a amplitude do sinal eletromiográfico aumente em concomitância com a mudança do espectro de frequência no sentido das baixas frequências^{38,47,51-53}. Era de se esperar, portanto, que houvesse aumentos do RMS em cada protocolo. Por outro lado, é provável que a natureza aguda do nosso estudo não tenha sido suficiente para determinar diferenças na ativação do VM entre as modalidades. Um dos argumentos é baseado na relação tempo-dependente das manifestações do treinamento, como no estudo clássico de Moritani e deVries¹³ no qual foi encontrado um aumento na amplitude do sinal eletromiográfico, mas depois de 2 semanas de treinamento. Por sua vez, Coburn et al.⁴³, ao aplicarem um treinamento com apenas três sessões em protocolo tradicional de exercício de extensão do joelho (4 séries de 10 repetições a $30^{\circ} \cdot s^{-1}$ e $270^{\circ} \cdot s^{-1}$) também não encontraram diferenças no RMS pós-treinamento, o que representa outro argumento quanto à ausência de diferença entre as modalidades, no presente estudo.

Ao que parece, o monitoramento do domínio das frequências pode ser mais sensível para se detectar mudanças do desempenho muscular durante o exercício^{47,53}. No presente estudo, a análise por meio do novo índice da fadiga muscular (FI_{nsm5}) foi capaz de detectar variações importantes do desempenho entre os protocolos, mesmo em uma condição aguda. No presente estudo, a FI_{nsm5} não apresentou valores tão altos (de até 150%) quando comparados com o estudo de Dimitrov et al.⁵³, que apresentaram índices de até 800% de fadiga dos extensores do joelho. Entretanto, o nosso intervalo de repouso pode ter favorecido certa recuperação e influenciado a FI_{nsm5} . Mesmo nesta condição, a SS apresentou maiores índices de fadiga em comparação ao CR e TRAD. A menor inclinação na reta de fadiga do protocolo CR pode ser um indício de que os efeitos da inibição recíproca, como sugerido por Kisner e Colby³³, Enoka⁷⁸ e Smith et al.⁴⁰, ocorreram e potencializaram o desempenho nesta modalidade. Entretanto, o índice de fadiga na modalidade TRAD apresentou padrão parecido com a CR, o que não era esperado. Ao contrário da hipótese da inibição recíproca, supomos que a ordem de pré-ativação no TRAD tenha favorecido maior grau de recuperação e, também, tenha ocasionado efeitos relativos à potenciação pós-ativação, mencionados anteriormente. Uma limitação do nosso estudo, portanto, foi a ausência de um grupo controle, que teria sido ideal para melhor entender as respostas neuromusculares dos extensores do joelho, sem uma pré-carga dos antagonistas.

Vistos em conjunto, os resultados da concentração de lactato sanguíneo e a FI_{nsm5} representam um importante achado do presente estudo. Os protocolos apresentaram o mesmo volume de treinamento, mas ao que parece, o uso de contrações na modalidade SS ocasionam uma maior deposição de produtos metabólicos pós-exercício, traduzido pelo aumento da concentração de lactato sanguíneo e corroborando os achados de Kelleher et al.²³. Atualmente, a concentração de lactato pode ser considerada um importante marcador indireto do estresse metabólico do exercício e, conseqüentemente, dos efeitos deletérios da fadiga muscular^{50,54,80-82}. Como destacado por Dimitrov et al.⁵³ e González-Izal et al.⁴⁷, os aumentos da FI_{nsm5} estão relacionados ao aumento da duração do potencial de ação na fibra muscular e a uma diminuição da velocidade de condução nervosa. Sabe-se que após o potencial de ação de uma fibra há uma fase denominada de “pós-potencial

negativo”, causada pela permanência de canais de potássio abertos. Isto permite a difusão do excesso de K^+ para fora da célula, criando um déficit de íons positivos no interior e aumentando por sua vez os íons negativos. Enquanto este evento persistir, não haverá uma “re-excitação” e não ocorrerá novo potencial de ação, até que se atinja o limiar de despolarização⁸³. De fato, McKenna et al.⁸¹ afirmam que distúrbios na concentração de K^+ estão relacionados com o aumento da concentração de lactato sanguíneo e, conseqüentemente, à diminuição da excitabilidade muscular ocasionada pela fadiga. Ao que parece, em condições de fadiga o aumento gradual de K^+ poderia levar a uma inativação dos canais de Na^+ que, por sua vez, reduziria a liberação de Ca^+ pelos retículos sarcoplasmáticos^{50,82} via diminuição da amplitude dos potenciais de ação e subsequente falha dos potenciais de ação, afetando o acoplamento excitação-contração da fibra e o desempenho muscular⁸². Assim, o aumento da concentração de lactato, associado às quedas de força, aos índices de fadiga e as quedas no TFI apontam para o fato de que a modalidade SS foi a menos eficiente em comparação ao CR e TRAD. Portanto, é possível supor que os mecanismos explicados anteriormente tenham ocorrido em resposta à ordem de pré-ativação da modalidade SS, corroborando com o fato de que diferentes ordens de exercício afetam as respostas fisiológicas do corpo¹⁷.

Em relação à co-ativação antagonista, não foram encontradas diferenças significantes entre os protocolos. Entretanto, a modalidade CR apresentou maiores índices de co-ativação do BF ao longo do exercício. Este é um achado contraditório, considerando que autores afirmam que quanto maior a co-ativação, menor a geração de força e desempenho do agonista^{21,42}. Este não foi o caso no presente estudo, em que os achados demonstraram que durante a CR os participantes conseguiram manter um maior nível de força e trabalho, mesmo em uma condição de maior ativação do BF. Foram encontradas também quedas significantes da co-ativação ao final do exercício para o SS e o CR, mas não para o TRAD, que manteve o mesmo nível de ativação do BF ao longo do exercício. De acordo com Gonçalves e Pinheiro⁴², é esperado que com o treinamento os ganhos de força venham acompanhados por diminuições de co-ativação de músculos agonistas. Neste caso, as quedas de co-ativação do CR e SS poderiam ser explicadas por uma adaptação ao exercício nessas

modalidades, entretanto, a magnitude desses achados só poderá ser confirmada em estudos longitudinais.

Remaud et al.⁶² sugerem que a maior co-ativação antagonista representa uma estratégia neural que visa proteger a articulação do joelho contra a rotação interna da tíbia induzida pela contração do músculo quadríceps durante a extensão do joelho. Neste sentido, é provável supor que na modalidade CR a ordem imediata de ação entre agonistas e antagonistas tenha estimulado uma resposta neural de mecanorreceptores do joelho, ocasionando o maior índice de co-ativação sem, no entanto, impor efeitos deletérios na geração de trabalho. Este é um achado positivo e que remete a aplicações clínicas importantes, com destaque para o aumento da estabilidade do joelho ao fortalecer grupamentos agonistas e antagonistas⁸⁴. Os músculos antagonistas proporcionam controle das forças mecânicas que causam instabilidade articular gerada durante a ação dos agonistas, demonstrando que o fortalecimento de grupamentos antagonistas pode restaurar ou aumentar o equilíbrio muscular em uma articulação⁴¹. Assim, é possível afirmar que o conjunto de resultados do presente estudo indica que a modalidade CR implica a redução do risco de lesões ao gerar maior estabilidade articular e, ao mesmo tempo, favorecer maiores níveis de força e trabalho muscular⁸⁵. Deste modo, recomenda-se que fisioterapeutas e educadores físicos incluam em suas estratégias de tratamento e treinamento, exercícios resistidos com ações recíprocas. Tais estratégias poderiam influenciar as habilidades neuromusculares necessárias para atividades que requerem controle motor de músculos primários e estabilizadores do joelho^{33,79}, prevenir a ocorrência de desequilíbrios articulares⁸⁶ e na estabilização dinâmica em casos de deficiência do ligamento cruzado anterior⁸⁴. Entretanto, sugere-se o delineamento de novos estudos experimentais para melhor verificar as adaptações resultantes dos protocolos CR, SS e TRAD, principalmente o comportamento da co-ativação após um período de treinamento. Deste modo, será possível comprovar qual modalidade é de fato mais eficaz em relação aos ganhos de força e desempenho muscular em diferentes populações.

8. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os achados do presente estudo demonstraram que três diferentes modalidades de pré-ativação dos músculos antagonistas proporcionam taxas similares de força extensora, confirmando a hipótese inicial. Entretanto, mesmo em uma condição aguda houve variações no desempenho, traduzidas por uma maior capacidade de trabalho na modalidade com contrações recíprocas, em comparação à tradicional. Na modalidade CR os indivíduos foram capazes de manter o mesmo tempo da fase ao longo das séries e apresentaram menor queda em comparação aos outros protocolos. Este achado tem implicações práticas importantes, na medida em que pode representar maior eficiência muscular e, conseqüentemente, melhor aproveitamento da resistência imposta ao longo da realização de exercícios resistidos.

Em se tratando do desempenho neuromuscular, foram encontrados aumentos significantes da ativação do VM ao longo das três modalidades, demonstrando que o exercício estimulou o recrutamento de fibras musculares. Entretanto, não foram encontradas diferenças entre os protocolos, confirmando a hipótese nula. Entretanto, a hipótese de que tanto a fadiga quanto a concentração de lactato seriam as mesmas entre os protocolos foi refutada. A monitoração da fadiga muscular, em conjunto com a análise da concentração sanguínea de lactato demonstrou que a realização de exercícios na modalidade da supersérie proporciona menor eficiência. Ao que parece, a maior capacidade de trabalho, menor índice de fadiga e maior TFI apontam para uma maior eficiência da modalidade com contrações recíprocas (CR). A este fato soma-se a maior co-ativação encontrada na modalidade CR, que mesmo apesar da ausência de significância estatística pode representar importantes benefícios práticos ao associar estabilidade articular adequada a uma maior capacidade de trabalho.

A hipótese de que a TDA seria igual entre os métodos foi confirmada, demonstrando que essa variável depende de respostas neurais relacionadas a uma maior capacidade contrátil e de ativação neuromuscular. Deste modo, é possível supor que incrementos só possam ser verificados por meio de duas

situações: estudos experimentais com maior tempo de duração e uso de velocidades mais altas do que a adotada no presente estudo.

Por fim, algumas recomendações e sugestões devem ser atentadas em futuros estudos direcionados para se compreender os efeitos de modalidades que alternam a ordem de contração entre músculos agonistas e antagonistas:

1. Estudos de intervenção com maior tempo de duração são necessários para confirmar se os indícios das adaptações agudas da modalidade CR encontrados no presente estudo são factíveis.
2. Novos estudos devem incluir um grupo controle, no qual não haja pré-ativação antagonista. Essa estratégia irá favorecer a compreensão das respostas neuromusculares dos agonistas, quando da ausência dos efeitos da pré-ativação.
3. A adoção de um protocolo específico de fadiga, com maior número de repetições nas séries ou grande número de repetições sem intervalo de recuperação. Esta estratégia pode ser mais interessante para se verificar o comportamento da fadiga na modalidade SS e compará-lo com as modalidades CR e TRAD. Além disso, seria mais adequado para verificar se o recrutamento muscular sofre influências das diferentes ordens de pré-ativação.

9. REFERÊNCIAS

1. ACSM. American College of Sports Medicine (ACSM). Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição. 7ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
2. Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, *et al.* American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002, 34:364-380.
3. Fletcher GF, Balady G, Froelicher VF, Hartley LH, Haskell WL, Pollock ML. Exercise standards. A statement for healthcare professionals from the American Heart Association. Writing group. *Circulation* 1995, 91:580-615.
4. Fleck SJ, Kraemer WJ. Fundamentos do treinamento de força muscular. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
5. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, Housh TJ, Kibler WB, Kraemer WJ, Triplett NT. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009, 41(3):687-708.
6. Yeung SSM, Ng GYF. Effects of squat lift training and free weight muscle training on maximum lifting load and isokinetic peak torque of young adults without impairments. *Phys Ther* 2000, 80:570–577.
7. Evetovich TK, Housh TJ, Housh DJ, Johnson G, Smith DB, Ebersole KT. The effect of concentric isokinetic strength training of the quadriceps femoris on electromyography and muscle strength in the trained and untrained limb. *J Strength Cond Res* 2001, 15(4):439-445.
8. Michaut A, Babault N, Pousson M. Specific effects of eccentric training on muscular fatigability. *Int J Sports Med* 2004, 25:278-283.

9. Bottaro M, Machado SN, Nogueira W, Scales R, Veloso, J. Effect of high versus low-velocity resistance training on muscular fitness and functional performance in older men. *Eur J Appl Physiol* 2007, 99:257–264.
10. Rahimi, R. Effect of different rest intervals on the exercise volume completed during squat bouts. *J Sports Sci Med* 2005, 4:361-366.
11. Willardson JM, Burkett LN. A comparison of 3 different rest intervals on the exercise volume completed during a workout. *J Strength Cond Res* 2005, 19(1):23-26.
12. McArdle K. *Fisiologia do exercício*. 6ª edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
13. Moritani T, DeVries HA. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 1979, 58(3):115-130.
14. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc* 2004, 36(4):674-688.
15. Pincivero DM, Campy RM. The effects of rest interval length and training on quadriceps femoris muscle. Part I: knee extensor torque and muscle fatigue. *J Sports Med Phys Fitness* 2004, 44:111-118.
16. Lima FV, Chagas MH, Corradi EFF, Silva GF, Souza BB, Júnior LAM. Análise de dois treinamentos com diferentes durações de pausa entre séries baseadas em normativas previstas para a hipertrofia muscular em indivíduos treinados. *Rev Bras Med Esporte* 2006, 12(4):175-178.
17. Bellezza PA, Hall EE, Miller PC, Bixby WR. The influence of exercise order on blood lactate, perceptual and affective responses. *J Strength Cond Res* 2009 23(1):203-208.
18. Bottaro M, Ernesto C, Celes R, Farinatti PTV, Brown LE, Oliveira RJ. Effects of age and rest interval on strength recovery. *Int J Sports Med* 2010, 31:22-25.

19. Hakkinen K, Kraemer WJ, Newton RU, Alen M. Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiol Scand* 2001, 171(1), 51-62.
20. Gentil P, Oliveira E, Fontana K, Molina G, Oliveira RJ, Bottaro M. Efeitos agudos de vários métodos de treinamento de força no lactato sanguíneo e características de cargas em homens treinados recreacionalmente. *Rev Bras Med Esp* 2006a, 12(6):303-307.
21. Maynard J, Ebben WP. The effects of antagonist pre-fatigue on agonist torque and electromyography. *J Strength Cond Res* 2003, 17(3):469-474.
22. Baker D, Newton RU. Acute effect on power output of alternating an agonist and antagonist muscle exercise during complex training. *J Strength Cond Res* 2005, 19(1):202-205.
23. Kelleher AR, Hackney KJ, Fairchild TJ, Keslacy S, Ploutz-Snyder L. The metabolic costs of reciprocal supersets vs. traditional resistance exercise in young recreationally active adults. *J Strength Cond Res* 2010, 24(4):1043-1051.
24. Robbins DW, Young WB, Behm DG, Payne WR. The effect of a complex agonist and antagonist resistance training protocol on volume load, power output, electromyographic responses, and efficiency. *J Strength Cond Res* 2010, 24(7):1782-1789.
25. Carregaro RL, Gentil P, Brown LE, Pinto RS, Bottaro M. Effects of antagonist pre-load on knee extensor isokinetic muscle performance. *J Sport Sci* 2011, 29(3):271-278.
26. Bohannon RW. Knee Extension Torque During Repeated Knee Extension-Flexion Reversals and Separated Knee Extension-Flexion Dyads. *Phys Ther* 1985, 65(7):1052-1054.
27. Bohannon RW, Gibson DF, Larkin P. Effect of resisted knee flexion on knee extension torque. *Phys Ther* 1986, 66(8):1239-1241.

28. Grabiner MD, Hawthorne DL. Conditions of isokinetic knee flexion that enhance isokinetic knee extension. *Med Sci Sports Exerc* 1990, 22:235-244.
29. Roy MA, Sylvestre M, Katch FI, Katch VL, Lagasse PP. Proprioceptive facilitation of muscle tension during unilateral and bilateral knee extension. *Int J Sports Med* 1990, 11:289-292.
30. Burke DG, Pelham TW, Holt LE. The influence of varied resistance and speed of concentric antagonistic contractions on subsequent concentric agonistic efforts. *J Strength Cond Res* 1999, 13(3):193-197.
31. Miller JP, Croce RV, Hutchins R. Reciprocal coactivation patterns of the medial and lateral quadriceps and hamstrings during slow, medium and high speed isokinetic movements. *J Electromyography* 2000, 10:233-239.
32. Jeon HS, Trimble MH, Brunt D, Robinson ME. Facilitation of quadriceps activation following a concentrically controlled knee flexion movement: The influence of transition rate. *J Orthop Sports Phys Ther* 2001, 31(3):122-132.
33. Kisner C, Colby LA. *Therapeutic exercise. Foundations and techniques*. 5th ed. Philadelphia: Davis Company, 2007.
34. Júnior VAR, Bottaro M, Pereira MCC, Andrade MM, Júnior PRWP, Carmo JC. Análise eletromiográfica da pré-ativação muscular induzida por exercício monoarticular. *Rev Bras Fisioter* 2010, 14(2):158-165.
35. Dvir Z. *Isocinética. Avaliações musculares, interpretações e aplicações clínicas*. 1^a ed. São Paulo: Manole, 2002.
36. Davies GJ, Heiderscheit, B, Brinks K. Test interpretation. In *Isokinetics in human performance*. 1st ed. Champaign: Human Kinetics, 2003.
37. Osternig LR. Isokinetic dynamometry: Implications for muscle testing and rehabilitation. *Exerc Sport Sci Rev* 1986, 14:45-80.
38. Molinari F, Knaflitz M, Bonato P, Actis MV. Electrical manifestations of muscle fatigue during concentric and eccentric isokinetic knee flexion-extension movements. *IEEE Trans Biomed Eng* 2006, 53(7):1309-1316.

39. Avila MA, Brasileiro JS, Salvini TF. Electrical stimulation and isokinetic training: effects on strength and neuromuscular properties of healthy young adults. *Rev Bras Fisioter* 2008, 12(6):435-440.
40. Smith LK, Weiss EL, Lehmkuhl LD. *Cinesiologia clínica de Brunnstrom*. 5^a Ed. São Paulo: Manole, 1997.
41. Baratta R, Solomonow M, Zhou H, Letson D, Chuinard R, D'Ambrosia R. Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med* 1988, 16(2):113-122.
42. Gonçalves RS, Pinheiro JP. Co-activação dos músculos flexores e extensores da articulação do joelho em condições isocinéticas. *Rev Port Cien Desp* 2005, 2(V):215–223.
43. Coburn JW, Housh TJ, Malek MH, Weir JP, Cramer JT, Beck TW, Johnson TO. Neuromuscular responses to three days of velocity-specific isokinetic training. *J Strength Cond Res* 2006, 20(4):892–898.
44. Farina D, Merletti R, Enoka RM. The extraction of neural strategies from the surface EMG. *J Appl Physiol* 2004, 96:1486-1495.
45. Soderberg GL, Knutson LM. A guide for use and interpretation of kinesiological electromyographic data. *Phys Ther* 2000, 80:485-498.
46. Hassani A, Patikas D, Bassa E, Hatzikotoulas K, Kellis E, Kotzamanidis C. Agonist and antagonist muscle activation during maximal and submaximal isokinetic tests of the knee extensors. *J Electrom Kinesiol* 2006, 16:661-668.
47. González-Izal M, Malanda A, Navarro-Amézqueta I, Gorostiaga EM, Mallor F, Ibáñez J, Izquierdo M. EMG spectral indices and muscle Power fatigue during dynamic contractions. *J Electrom Kinesiol* 2010, 20:233-240.
48. Cram JR, Kasman GS. *Introduction to surface electromyography*. Maryland: Aspen Publishers, 1998.

49. Silva AEL, Oliveira FR, Gevaerd MS. Mecanismos de fadiga durante o exercício físico. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2006, 8(1):105-113.
50. Cairns SP. Lactid acid and exercise performance. Culprit or friend? *Sports Med* 2006, 36(4):279-291.
51. Basmajian JV, DeLuca CJ. *Muscle Alive. Their functions revealed by electromyography*. 5th ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1985.
52. Babault N, Desbrosses K, Fabre MS, Michaut A, Pousson M. Neuromuscular fatigue development during maximal concentric and isometric knee extensions. *J Appl Physiol* 2006, 100:780-785.
53. Dimitrov GV, Arabadzhiev TI, Mileva KN, Bowtell JL, Crichton N, Dimitrova NA. Muscle fatigue during dynamic contractions assessed by new spectral indices. *Med Sci Sports Exerc* 2006, 38(11):1971-1979.
54. Westerblad H, Allen DG, Lännergren J. Muscle fatigue: Lactid acid or inorganic phosphate the major cause? *News Physiol Sci* 2002, 17:17-21.
55. Wilmore JH, Costill DL. *Fisiologia do esporte e do exercício*. 2^a ed. São Paulo: Manole, 2001.
56. Cohen J. Quantitative methods in psychology. A power primer. *Psychological Bulletin* 1992, 112(1):155-159.
57. Erdfelder E, Faul F, Buchner A. GPower: A general power analysis program. *Behavior Research Methods* 1996, 28(1):1-11.
58. Merletti R. Standards for Reporting EMG Data. *International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, 1999.
59. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electrom Kinesiol* 2000, 10(5):361-374.

60. Ruiters CJ, Hoddenbach JG, Huurnink A, Haan A. Relative torque contribution of vastus medialis muscle at different knee angles. *Acta Physiologica* 2008, 194:223-237.
61. Burden A. How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25 years of research. *J Electromyography and Kinesiology* 2010, 20:1023-1035.
62. Remaud A, Cornu C, Guével A. Agonist muscle activity and antagonist muscle co-activity levels during standardized isotonic and isokinetic knee extensions. *J Electromyography and Kinesiology* 2009, 19:449-458.
63. Biodex. Biodex System 3 Pro Manual (#835-000) Applications/Operations. Biodex Medical Systems, Inc, Shirley, NY, 1998.
64. Schwartz FP, Bottaro M, Celes RS, Brown LE, Nascimento FAO. The influence of velocity overshoot movement artifact on isokinetic knee extension tests. *J Sports Sciences* 2010, 9:140-146.
65. Robertson RJ, Goss FL, Rutkowski J, Lenz B, Dixon C, Timmer J, Frazee K, Dube J, Andreacci J. Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2003, 35(2):333-341.
66. Parcell AC, Sawyer RD, Tricoli VA, Chivere TD. Minimum rest period for strength recovery during a common isokinetic testing protocol. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2002, 34:1018-22.
67. Bottaro M, Russo AF, Oliveira RJ. The effect of rest interval on quadriceps torque during an isokinetic testing protocol. *J Sports Sciences* 2005, 4(3):285-290.
68. Stumbo TA, Merriam S, Nies K, Smith A, Spurgeon D, Weir, JP. The effect of hand-grip stabilization on isokinetic torque at the knee. *J Strength and Conditioning Research* 2001, 15(3):372-377.
69. Lund H, Søndergaard K, Zachariassen T, Christensen R, Bülow P, Henriksen M, Bartels E.M, Danneskiold-Samsøe B, Bliddal H. Learning effect

- of isokinetic measurements in healthy subjects, and reliability and comparability of Biodex and Lido dynamometers. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 2005, 25:75–82.
70. Hartmann A, Knols R, Murer K, de Bruin ED. Reproducibility of an isokinetic strength-testing protocol of the knee and ankle in older adults. *Gerontology* 2009, 55(3):259-268.
71. Beltman JGM, Sargeant AJ, Ball D, Maganaris CN, Haan A. Effect of antagonist muscle fatigue on knee extension torque. *Eur J Physiol* 2003, 446:735-741.
72. Spreuwenberg LPB, Kraemer WJ, Spiering BA, Volek JS, Hatfield DL, Silvestre R, Vingren JL, Fragala MS, Häkkinen K, Newton R, Maresh CM, Fleck SJ. Influence of exercise order in a resistance-training exercise session. *J Strength Cond Res* 2006, 20(1):141-144.
73. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* 2002, 93:1318-1326.
74. Munn J, Herbert RD, Hancock MJ, Gandevia SC. Resistance training for strength: Effect of number of sets and contraction speed. *Med Sci Sports Exerc* 2005, 37:1622–1626.
75. Kelly SB, Brown LE, Coburn JW, Zinder SM, Gardner LM, Nguyen D. The effect of single versus multiple sets on strength. *J Strength Cond Res* 2007, 21(4):1003-1006.
76. Tran QT, Docherty D. Dynamic training volume: A construct of both time under tension and volume load. *J Sports Sci Med* 2006, 5:707-713.
77. Brown LE, Whitehurst M, Gilbert R, Buchalter DN. The effect of velocity and gender on load range during knee extension and flexion exercise on an isokinetic device. *J Orthop Sports Phys Ther* 1995, 21(2):107-112.

78. Touey PRG, Sforzo A, McManis BG. Effects of manipulating rest periods on isokinetic muscle performance. *Med Sci Sports Exerc* 1994, 26:S170.
79. Enoka RM. Bases neuromecânicas da cinesiologia. 1ª ed. São Paulo: Manole, 2000.
80. Gentil P, Oliveira E, Bottaro M. Time under tension and blood lactate response during four different resistance training methods. *J Physiol Anthropol* 2006b, 25(5):339-344.
81. McKenna MJ, Bangsbo J, Renaud JM. Muscle K^+ , Na^+ , and Cl^- disturbances and Na^+-K^+ pump inactivation: implications for fatigue. *J Appl Physiol* 2008, 104:288-295.
82. Place N, Yamada T, Bruton JD, Westerblad H. Muscle fatigue: from observations in humans to underlying mechanisms studied in intact muscle fibers. *Eur J Appl Physiol* 2010, 110:1-15.
83. Guyton AC, Hall JE. Tratado de fisiologia médica. 9ª Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.
84. Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, Shoji H, Bose W, Beck C, D'Ambrosia R. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med* 1987, 15(3):207:213.
85. Andersen LL, Magnusson SP, Nielsen M, Haleem J, Poulsen K, Aagaard P. Neuromuscular activation in conventional therapeutic exercises and heavy resistance exercises: Implications for rehabilitation. *Phys Ther* 2006, 86(5):683-697.
86. Poletto P, Santos HH, Salvini TF, Coury HJCG, Hansson GA. Peak torque and knee kinematics during gait after eccentric isokinetic training of quadriceps in healthy subjects. *Rev Bras Fisioter* 2008, 12(4):331-337.

ANEXO I



Universidade de Brasília
Faculdade de Ciências da Saúde
Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/FS

PROCESSO DE ANÁLISE DE PROJETO DE PESQUISA

Registro do Projeto no CEP: 161/2008

Título do Projeto: Efeitos agudos do exercício concêntrico alternado de agonistas e antagonistas no torque, trabalho e volume de treinamento

Pesquisador Responsável: Rodrigo Luiz Carregaro

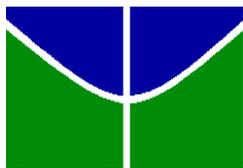
Data de Entrada: 29/10/2008

Com base nas Resoluções 196/96, do CNS/MS, que regulamenta a ética da pesquisa em seres humanos, o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília, após análise dos aspectos éticos e do contexto técnico-científico, resolveu **APROVAR** o projeto 161/2008 com o título: “Efeitos agudos do exercício concêntrico alternado de agonistas e antagonistas no torque, trabalho e volume de treinamento”, analisado na 10ª Reunião Ordinária, realizada no dia 11 de Novembro de 2008.

O pesquisador responsável fica, desde já, notificado da obrigatoriedade da apresentação de um relatório semestral e relatório final sucinto e objetivo sobre o desenvolvimento do Projeto, no prazo de 1 (um) ano a contar da presente data (item VII.13 da Resolução 196/96).

Brasília, 10 de Dezembro de 2008.

Prof. Volnei Garrafa
Coordenador do CEP-FS/UnB



AVALIAÇÃO

1. DADOS PESSOAIS

Nome:..... Data:/...../.....
 Ocupação:..... Gênero: masc fem
 Idade: Massa:..... Altura: IMC:.....
 Dominância manual: D E Dominância pernas: D E
 Pratica atividade física? S N Qual modalidade?:
 Frequência semanal:.....
 Está praticando musculação nos últimos 6 meses? S N

2. DADOS CLÍNICOS

a) Doenças prévias?:.....
 Hipertensão arterial Doença cardiovascular
 b) Realizou alguma cirurgia?:.....
 c) Histórico de trauma?:.....

 d) Uso prolongado de medicamentos?:.....

3. AVALIAÇÃO FÍSICA E POSTURAL

a) **Dor:** apresenta dor em alguma região do corpo? S N
 Se sim, qual região?:.....

Vista Anterior

Alteração	Normal	Lado D	Lado E
Alinhamento cabeça		Inclin D ()	Inclin E ()
		Rot D ()	Rot E ()
Altura ombros		Elevado D ()	Elevado E ()
Clavículas		Verticalizada D ()	Verticalizada E ()
Braços (Δ tales)		Maior D ()	Maior E ()
Cristas ilíacas/EIAS		Elevada D ()	Elevada E ()
Patelas		Alta D ()	Alta E ()
Joelhos		Valgo () Varo ()	

Vista lateral

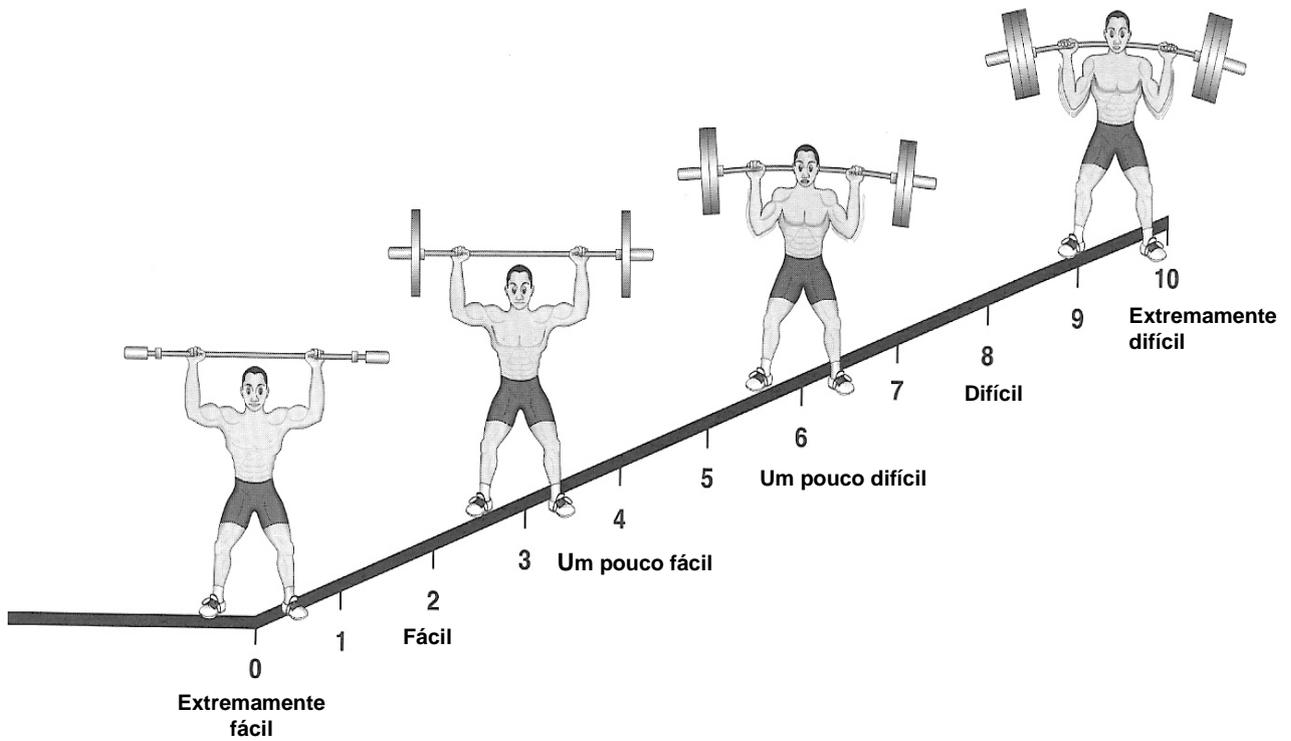
Alteração	Normal	Lado D	Lado E
Alinhamento cabeça		Anteriorizada ()	Anteriorizada ()
Ombro		Anteriorizado D ()	Anteriorizado E ()
Cervical		Hiperlordose ()	Hiperlordose ()
		Retificação ()	Retificação ()
Torácica		Hipercifose ()	Hipercifose ()
		Retificação ()	Retificação ()
Lombar		Hiperlordose ()	Hiperlordose ()
		Retificação ()	Retificação ()
Tronco		Rodado cint escapular ()	Rodado cint escapular ()
		Rodado cint pélvica ()	Rodado cint pélvica ()
Pelve		Anteversão ()	Anteversão ()
		Retroversão ()	Retroversão ()
Joelhos		Fletidos ()	Fletidos ()
		Recurvatum ()	Recurvatum ()

Vista Posterior

Alteração	Normal	Sim - D	Sim - E
Alinhamento cabeça		Inclin D ()	Inclin E ()
		Rot D ()	Rot E ()
Altura ombros		Elevado D ()	Elevado E ()
Escápula		Abduzida D ()	Abduzida D ()
		Aduzida D ()	Aduzida D ()
		Alada ()	Alada ()
Braços (tales)		Maior D ()	Maior E ()
Cristas/EIPS		Elevada D ()	Elevada E ()
Escoliose		S () N () Gibosidade na flex. Anterior? S () N ()	

OMNI Resistance Exercise Scale (OMNI-RES)

Escala de Esforço Físico Percebido



ANEXO II

Artigos publicados

Artigo aceito para publicação na Revista Brasileira de Fisioterapia

“Efeitos da ordem de pré-ativação dos músculos antagonistas nas respostas neuromusculares dos extensores do joelho”



REVISTA BRASILEIRA DE FISIOTERAPIA/ BRAZILIAN JOURNAL OF PHYSICAL THERAPY
Rod. Washington Luis, Km 235 · Caixa Postal 676 · CEP 13565-905 · São Carlos, SP - Brasil
Telefone: +55 (16) 3351 8755 · E-mail: contato@rbf-bjpt.org.br · Site: www.rbf-bjpt.org.br

São Carlos, 14 de Julho de 2011.

Prezados(as) Senhores(as)

Informamos V.Sas. que o manuscrito nº Sci-938 (021/2011), título **“Efeitos da ordem de pré-ativação dos músculos antagonistas nas respostas neuromusculares dos extensores do joelho”** de *Rodrigo Luiz Carregaro, Rafael Rodrigues da Cunha, Jefferson Rosa Cardoso, Ronei S. Pinto e Martim Bottaro* foi aceito para publicação na Revista Brasileira de Fisioterapia em 10/07/2011.

Atenciosamente

Débora Bevilaqua Grossi
Revista Brasileira de Fisioterapia
Editor

Efeitos da ordem de pré-ativação dos músculos antagonistas nas respostas neuromusculares dos extensores do joelho

Effects of antagonist muscles pre-activation order on knee extensors neuromuscular responses

Rodrigo Luiz Carregaro^{1,3}; Rafael Rodrigues da Cunha³; Jefferson Rosa Cardoso²; Ronei S. Pinto⁴; Martim Bottaro³

1. Curso de Fisioterapia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).
2. Departamento de Fisioterapia, Universidade Estadual de Londrina (UEL).
3. Faculdade de Educação Física, Universidade de Brasília (UnB), Brasília/DF, Brasil.
4. Escola de Educação Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Resumo

Contextualização. A pré-ativação de músculos antagonistas é utilizada em diferentes modalidades de exercício e em diferentes protocolos de reabilitação neuromuscular, porém suas respostas ainda são controversas. **Objetivo.** Verificar o impacto de duas diferentes estratégias de pré-ativação de músculos antagonistas no desempenho neuromuscular e na atividade eletromiográfica dos extensores do joelho. **Métodos.** Quinze homens saudáveis ($23,9 \pm 4,2$ anos; $1,78 \pm 0,08$ m e $81,4 \pm 10,7$ kg) realizaram, em dias distintos, 2 protocolos de ações musculares isocinéticas com 4 séries de 10 repetições a $60^\circ \cdot s^{-1}$ e intervalo de 1 minuto entre séries: 1) Contração Recíproca (CR): exercício concêntrico recíproco de antagonistas/agonistas (1 repetição de flexão do joelho [FJ] imediatamente seguido por 1 de extensão do joelho [EJ]), e 2) Super Série (SS): exercício concêntrico alternado dos antagonistas/agonistas (10 repetições de FJ seguida por 10 de EJ). Utilizou-se a ANOVA para medidas repetidas com teste *post-hoc* LSD para verificar a diferença entre protocolos. **Resultados.** Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre protocolos para o pico de torque (PT) e trabalho total (Tt). Em relação ao Tt, o protocolo SS apresentou quedas significativas nas duas últimas séries ($p < 0,05$) enquanto que no CR, a queda ocorreu apenas na última série de exercício. Não houve diferenças no *root mean square* (RMS) entre protocolos, mas o padrão de ativação foi mais uniforme durante o CR. **Conclusão.** Os resultados indicaram que a queda na força muscular não é influenciada pelas diferentes formas de pré-ativação da musculatura antagonista, no entanto parece que a utilização de CR permite uma melhor manutenção do volume de treinamento.

Descritores: Eletromiografia, treinamento de resistência, dinamômetro de força muscular, reabilitação, movimento.

Introdução

O exercício resistido é considerado um elemento essencial em programas de reabilitação e condicionamento físico^{1,2}. Programas que envolvem exercícios resistidos também podem focar a prevenção de lesões^{3,4}, como nos casos em que a instabilidade articular gerada por deficiência dos estabilizadores dinâmicos das articulações predis põem a degeneração de estruturas sinoviais⁵.

Ganhos de força proporcionados por programas de exercício resistido representam, portanto, benefícios clínicos importantes, e inúmeros métodos foram criados para esta finalidade^{6,7}. Recentemente, a utilização da pré-ativação dos músculos antagonistas antes da ativação dos agonistas tem recebido bastante atenção nas clínicas de reabilitação e nas salas de musculação. De acordo com Júnior et al.⁸, encadear as ações musculares de forma que a sequência de estímulos proporcione uma resposta muscular eficaz é um objetivo almejado por profissionais que empregam o exercício resistido voltado para o desempenho e reabilitação. Ao que parece, as características de pré-ativação dos músculos antagonistas parecem influenciar positivamente a geração de força dos agonistas. Neste caso, indivíduos submetidos a estas modalidades poderiam melhorar seu desempenho motor e gerar maiores níveis de força. Entretanto, evidências para suportar esta informação ainda são escassas e controversas.

Dentre as modalidades de pré-ativação dos agonistas, pode-se destacar o método conhecido como super série (SS)⁹⁻¹³ e o método de contrações recíprocas (CR)¹⁴⁻¹⁹. No entanto, os achados referentes à eficácia desses protocolos são controversos, pois variações metodológicas dificultam a diferenciação das vantagens entre ambos. Burke et al.⁹ verificaram que o protocolo SS tem efeitos positivos na geração de força do agonista, entretanto, este não foi o caso quando a contração prévia do antagonista foi realizada por meio de séries simples e com contrações máximas e prolongadas¹⁰. Do mesmo modo, Bohannon et al.¹⁵ não obtiveram diferenças na força gerada entre o método CR e um método tradicional (sem ativação prévia do antagonista), em indivíduos saudáveis. Por outro lado, outros estudos demonstraram benefícios da CR^{16,17,19}, mas as conclusões basearam-se em exercícios conduzidos com

séries simples, ou seja, uma única série (definida como um grupo de repetições desenvolvidas de forma contínua, sem interrupções). No entanto, a prática e reabilitação por meio de exercícios resistidos são baseadas em mais de uma série (séries múltiplas).

Em um dos poucos estudos a terem comparado os métodos, Bohannon¹⁴ demonstrou um torque 10% maior durante o protocolo de CR em comparação com a modalidade SS em participantes acometidos por acidente vascular encefálico. Em estudo recente, Carregaro et al.²⁰ não reportaram diferenças significativas na produção de torque do agonista, porém, verificaram que o CR gera uma maior capacidade de trabalho do que o SS. Importante observar que a maioria dos estudos citados não utilizou a eletromiografia (EMG) de superfície para compreender as diferenças entre as modalidades e, até a presente data, poucos estudos avaliaram a ativação muscular^{10,13,18,19}. Além disso, com exceção de Robbins et al.¹³, todos foram focados na compreensão dos efeitos de diferentes velocidades de execução na geração de força, o que não permite comparar o desempenho entre as modalidades. Deste modo, o objetivo do presente estudo foi verificar o impacto de duas diferentes ordens de pré-ativação dos músculos flexores do joelho na geração de torque, trabalho e ativação eletromiográfica do músculo vasto medial, durante exercício de extensão do joelho.

Materiais e métodos

Amostra

Participaram 15 homens saudáveis (idade de $23,9 \pm 4,2$ anos; $1,78 \pm 0,08$ m e $81,4 \pm 10,7$ kg), que foram instruídos a não realizar nenhum tipo de atividade física extenuante para membros inferiores no período de realização do estudo. Os critérios de inclusão foram: (a) Idade compreendida entre 18 e 35 anos e (b) serem fisicamente ativos (engajados em algum tipo de exercício físico, pelo menos 2x/semana). Os sujeitos foram excluídos caso apresentassem história de trauma e qualquer tipo de cirurgia de natureza musculoesquelética em membros inferiores e coluna, doença cardiovascular e hipertensão arterial diagnosticada. Todos os indivíduos que participaram foram esclarecidos sobre os objetivos da pesquisa e procedimentos, e convidados a participar do estudo

assinando um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, de acordo com a Resolução 196 do CNS, devidamente aprovado pelo comitê de ética institucional (parecer n. 161/2008).

Procedimentos de avaliação

Os participantes compareceram ao Laboratório de Treinamento de Força em três momentos, com intervalo mínimo de 72hs entre cada. No primeiro dia foi realizado um procedimento de familiarização dos protocolos de exercício, no qual os participantes realizaram duas séries de 4 repetições máximas a $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ (em cada protocolo), com 1 minuto de intervalo entre séries. Entre os protocolos, houve um período de 5 minutos de repouso. Também foi realizada uma familiarização da contração isométrica voluntária máxima (CIVM), no qual todos realizaram 2 contrações máximas de 5 segundos de contração, com um intervalo de 2 minutos entre ambas.

O segundo e o terceiro encontro foram caracterizados pela aplicação dos protocolos de exercício, com 4 séries de 10 repetições cada e velocidade de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$, na perna dominante (membro utilizado para chutar uma bola). Entre séries, houve um intervalo de repouso de 1 minuto²¹. Os protocolos utilizados foram: (1) Contração Recíproca (CR; 4 séries de exercício concêntrico recíproco de antagonistas e agonistas, caracterizado pelo movimento de flexão do joelho [FJ] imediatamente seguido pela extensão do joelho [EJ], em cada repetição) e (2) Super Série (SS; 4 séries de exercício em modo alternado dos antagonistas e agonistas, sendo cada série caracterizada por 10 repetições concêntricas de FJ com EJ passiva seguida imediatamente por uma série de 10 repetições concêntricas de EJ com FJ passiva). Nas 24h que precederam os encontros, os participantes foram instruídos a não realizarem exercícios extenuantes e não ingerirem bebidas energéticas. A ordem dos dois protocolos foi aleatorizada.

Durante as avaliações, foi solicitado aos participantes que posicionassem seus braços contra o tórax, para que os braços apoiados na cadeira não influenciassem a geração de força²². Além disso, os participantes foram instruídos a realizar o movimento com força máxima e em toda a amplitude de movimento disponível. Antes da realização dos procedimentos e

exercícios no dinamômetro, todos realizaram um aquecimento de 10 minutos por meio de um exercício leve e sem carga, em uma bicicleta ergométrica. Foi dado encorajamento verbal e *feedback* visual pela tela do computador, na tentativa de se alcançar o nível máximo de esforço. Todos os procedimentos foram realizados pelo mesmo investigador.

Dinamômetro isocinético

Utilizou-se um dinamômetro isocinético *Biodex System 3* (*Biodex Medical*, Shirley, NY). A calibração foi realizada de acordo com as especificações do manual do fabricante, e a correção da gravidade foi obtida medindo-se o torque exercido pelo braço de resistência e a perna do indivíduo (relaxada), na posição de extensão terminal do joelho. Cada sujeito foi posicionado na cadeira, com a possibilidade de um movimento livre e confortável de flexo-extensão do joelho (Figura 1). Para evitar movimentos de hiper-extensão do joelho, utilizou-se no presente estudo uma amplitude de movimento de flexo-extensão de 80° (excursão entre 10° e 90°, considerando 0° a extensão completa do joelho). A posição do quadril foi padronizada a 100° de flexão (posicionamento da cadeira), para todos os sujeitos. 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. Para que o posicionamento dos participantes fosse confiável entre os diferentes dias, a altura da cadeira, inclinação do encosto, altura do dinamômetro e ajuste do braço de resistência foram anotadas e replicadas em cada dia.

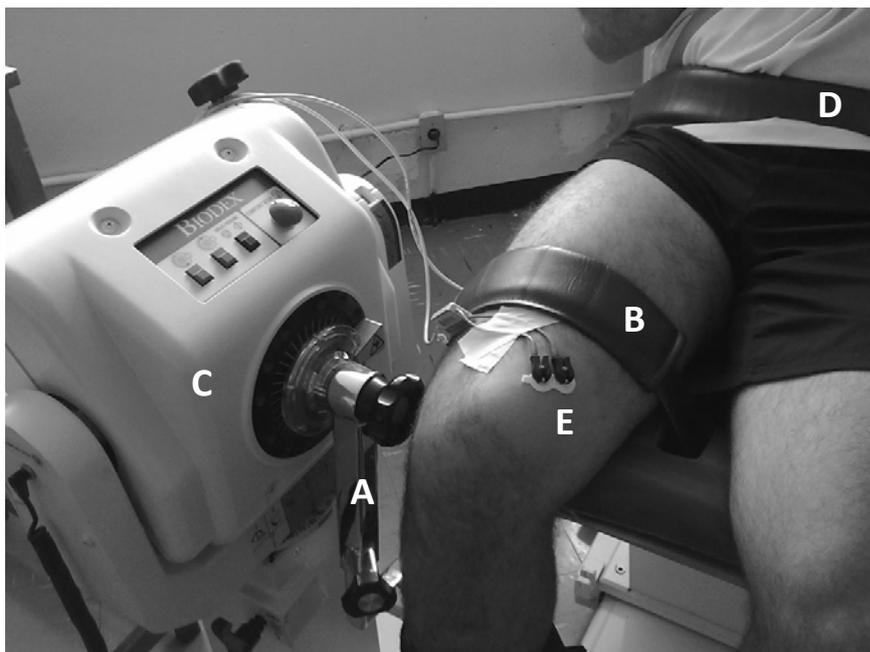


Figura 1. Ilustração do experimento no dinamômetro isocinético (A: Braço de resistência; B: Faixa de fixação da coxa; C: Dinamômetro; D: Faixa de fixação na cintura; E: Eletrodo no músculo VM).

Eletromiografia de superfície

O registro e processamento dos sinais eletromiográficos foram baseados nas recomendações da Sociedade Internacional de Eletrofisiologia e Cinesiologia²³ e Soderberg e Knutson²⁴. A colocação dos eletrodos foi baseada nas diretrizes do projeto SENIAM (*Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles*)²⁵.

Foi utilizado um eletromiógrafo de superfície portátil, de 4 canais (*Miotool*, Miotec Equipamentos Biomédicos Ltda, Brasil), com resolução de 14bits, nível de ruído < 2LSB e modo de rejeição comum de 110db. Os canais foram ajustados com uma amostragem de 2000Hz, e um ganho final de 1000 vezes. Os eletrodos ativos simples diferencial (impedância de entrada de 10^{10} Ohm) possuem espuma de polietileno com adesivo medicinal hipoalérgico, gel sólido aderente, contato bipolar de Ag/AgCl e distância entre os pólos de 20 mm. O músculo avaliado foi o vasto medial (VM) e o eletrodo de referência foi acoplado na proeminência óssea da sétima vértebra cervical (C7). O músculo

VM foi escolhido com base nos achados de Miller¹⁸, no qual foi observado 1,5 vezes mais ativação do que outros músculos do grupamento durante protocolo similar ao utilizado no presente estudo.

O eletrodo foi posicionado sobre o ventre muscular do músculo VM e em paralelo às fibras musculares²⁶ (Figura 1). Antes da colocação dos eletrodos a área foi tricotomizada e, em seguida, realizada leve abrasão com álcool 70%. A colocação foi realizada no primeiro dia de testes, no qual foi realizado o delineamento do eletrodo com caneta de alta fixação para garantir o mesmo posicionamento nos dias subseqüentes.

Nos dias em que foram realizados os protocolos, todos os sujeitos realizaram uma CIVM com a articulação do joelho posicionada a 60° (tendo como referencial de 0° a extensão completa do joelho). A CIVM foi caracterizada por duas contrações de 5 segundos cada, com intervalo de 2 minutos de repouso entre cada contração. Após 5 minutos de repouso, os sujeitos eram instruídos a iniciar os protocolos de exercício.

O processamento foi realizado no programa *Miograph 2.0* (Miotec Equipamentos Biomédicos Ltda, Brasil). O sinal eletromiográfico foi filtrado com uma freqüência de passa-banda entre 20Hz e 450 Hz (filtro *Butterworth* de 4ª ordem) e normalizados pela CIVM. No procedimento de normalização, a repetição da CIVM com maior valor da *root mean square* (RMS) foi utilizada como referencial, considerando-se os três segundos centrais do sinal. Para a análise do padrão de ativação eletromiográfica do músculo VM nos protocolos, foi avaliado o RMS médio das três primeiras e três últimas repetições, em cada série de exercício.

Análise dos dados

Foi utilizado o programa SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*) versão 13.0. Os dados são apresentados em relação à média \pm desvio-padrão, tendo sido verificada a normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. As variáveis dependentes analisadas foram o pico de torque (PT), o trabalho total (Tt) e o RMS (apresentado como % da CIVM). Utilizou-se para o PT e Tt a Análise de Variância (ANOVA) 2 x 4 para medidas repetidas [protocolos (CR e SS) x número de séries (1ª, 2ª, 3ª, 4ª)], com o teste *post-hoc*

LSD (*Least-significant difference*). Para o RMS foi aplicada a ANOVA 2 x 4 x 6 para medidas repetidas [protocolos (CR e SS) x número de séries (1^a, 2^a, 3^a, 4^a) x repetições (1^a, 2^a, 3^a, 8^a, 9^a, 10^a)]. O teste de esfericidade de Mauchly's W foi aplicado e, sempre que refutado, as análises basearam-se na correção de Greenhouse-Geisser. A significância adotada foi de 5% ($p < 0,05$).

Resultados

Os valores do PT e Tt gerados durante a execução dos protocolos CR e SS estão apresentados na Tabela 1. A comparação entre os protocolos demonstrou não haver diferença significativa para o PT e Tt ($p > 0,05$).

Na análise intra-grupos verificou-se uma queda significativa da força gerada na última série de exercício, para ambos os protocolos ($p < 0,05$ - Tabela 1). Entretanto, apesar da ausência de significância estatística entre os protocolos, é possível notar que o protocolo CR apresentou quedas percentuais menores (2%, 5% e 10% nas séries 2, 3 e 4) em relação ao protocolo SS (3%, 7% e 14% nas séries 2, 3 e 4), quando comparados com a primeira série de exercício. Em relação ao Tt, o protocolo SS apresentou diferenças no volume de exercício caracterizadas por quedas significantes nas duas últimas séries ($p < 0,05$). Para o protocolo CR, a queda ocorreu apenas na última série ($p < 0,05$). Apesar da ausência de diferença entre protocolos, a diminuição do trabalho na última série atingiu 22% no SS, contra uma queda de 14% para o CR.

Tabela 1. Valores do pico de torque extensor do joelho e trabalho total (média \pm desvio-padrão) gerados durante os protocolos avaliados (CR: Contração recíproca; SS: Supersérie).

	Pico de Torque Extensor (N.m)				Trabalho Total (J)			
	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4
SS	264,1 \pm 49,1	254,9 \pm 52,7	246,0 \pm 50,2	228,3 \pm 41,5*	2270,6 \pm 385,2	2104,3 \pm 347,4	1935,5 \pm 389,6*	1779,4 \pm 308,9*#
CR	261,4 \pm 37,0	257,1 \pm 37,2	248,3 \pm 37,3	234,1 \pm 32,3*	2262,7 \pm 327,6	2173,7 \pm 321,6	2052,9 \pm 295,5	1943,5 \pm 264,9*
Menor que a Série 1: *($p < 0,05$)					Menor que a Série 1: *($p < 0,05$) Menor que a Série 2: # ($p < 0,05$)			

Os achados referentes ao RMS do músculo VM estão apresentados na Tabela 2. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os protocolos e as séries ao longo das repetições analisadas ($p > 0,05$). É possível notar que o protocolo SS demonstrou variações significantes ($p < 0,05$), tanto na fase inicial quanto na final, para todas as séries, indicando aumento da ativação do músculo VM. Os aumentos da ativação também foram significantes no CR ($p < 0,05$), mas concentrados nas duas primeiras repetições e mantendo-se até o final. Foi encontrada uma interação significativa entre protocolos e repetições ($p < 0,05$), o que pode indicar padrões eletromiográficos específicos aos protocolos, como ilustrado na Figura 2.

Tabela 2. Valores do RMS (apresentados como % da CIVM) para as 4 séries em cada protocolo de exercício (CR: Contração Recíproca; SS: Supersérie), ao longo das repetições analisadas (Dados apresentados em média \pm desvio-padrão; Rep: Repetição).

		Rep1	Rep2	Rep3	Rep8	Rep9	Rep10
Série 1	SS	81,6 \pm 12,6	96,4 \pm 26,7*	100,3 \pm 20,4†	113,5 \pm 20,8‡	107,3 \pm 18,2#	105,4 \pm 22,7
	CR	89,9 \pm 19,5	102,2 \pm 25,6*	114,1 \pm 23,5†	108,8 \pm 23,2	112,9 \pm 24,7	106,0 \pm 18,3
Série 2	SS	79,4 \pm 15,8	94,4 \pm 21,5*	93,8 \pm 19,3†	112,4 \pm 25,1‡	111,2 \pm 27,7#	103,8 \pm 21,6
	CR	85,0 \pm 18,9	94,2 \pm 20,2*	106,3 \pm 19,4†	109,3 \pm 21,8	108,1 \pm 20,7	109,3 \pm 27,0
Série 3	SS	85,6 \pm 16,1	92,3 \pm 18,9*	96,0 \pm 14,9†	104,2 \pm 25,9‡	102,7 \pm 19,5#	96,6 \pm 17,5
	CR	90,7 \pm 24,6	101,8 \pm 21,1*	107,3 \pm 24,6†	107,4 \pm 23,2	109,5 \pm 23,3	102,9 \pm 24,8
Série 4	SS	91,5 \pm 19,5	93,7 \pm 17,2*	100,2 \pm 14,3†	110,3 \pm 23,3‡	104,1 \pm 17,9#	104,2 \pm 14,3
	CR	86,8 \pm 23,4	100,4 \pm 22,2*	106,9 \pm 21,5†	106,7 \pm 20,8	105,4 \pm 19,7	99,8 \pm 23,5

Diferenças significantes:

*Rep1→Rep2: $p=0,003$; †Rep2→Rep3: $p=0,006$; ‡Rep3→Rep8: $p=0,000$; #Rep8→Rep9: $p=0,03$

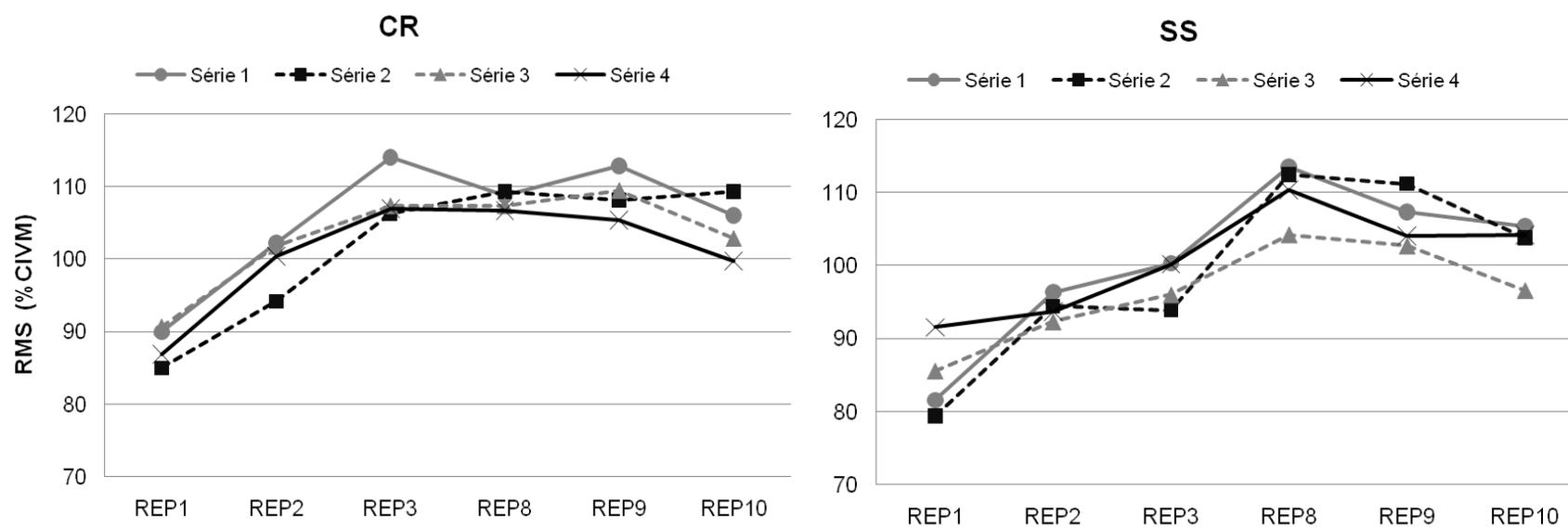


Figura 2. Série temporal com os padrões de ativação eletromiográfica (RMS em %CIVM) ao longo das repetições (REP) de exercício nos protocolos CR (contração recíproca) e SS (supersérie).

Discussão

O presente estudo levantou a hipótese de que diferentes protocolos de pré-ativação dos músculos flexores do joelho (antagonistas) influenciam a capacidade de gerar força e trabalho dos extensores (agonistas). A comparação entre as modalidades demonstrou que ambas proporcionam taxas similares de geração de força extensora. Entretanto, parece que a modalidade CR propicia maior capacidade de trabalho. A modalidade CR demonstrou, qualitativamente, uma curva com distribuição mais uniforme entre as séries de exercício, quando comparado ao SS. Além disso, a CR apresentou um aumento mais intenso do RMS, principalmente nas fases iniciais, o que pode representar uma maior eficiência no recrutamento muscular.

No presente estudo não foram encontradas diferenças significantes entre os protocolos quanto ao torque extensor do joelho, contrariando Maynard e Ebben¹⁰, que apontam diferenças no torque extensor do joelho após uma série de 5 repetições máximas de exercício na modalidade SS a $60^{\circ} \cdot s^{-1}$. Nesse estudo, o torque gerado na condição SS foi aproximadamente 4% menor do que no controle (exercício de extensão do joelho sem pré-ativação do agonista). Essa menor produção de força foi atribuída a um aumento de co-ativação dos músculos flexores, previamente fadigados. Entretanto, as comparações com o estudo de Maynard e Ebben¹⁰ são limitadas pelo fato de terem usado série simples e comparado a SS com outra modalidade de exercício. Outro aspecto foi a ausência de um período de familiarização do protocolo SS. Por outro lado, Baker e Newton¹¹ relataram aumentos da capacidade de gerar potência, após uma intervenção com uma série de 8 repetições (exercício de remada sentado nos moldes da supersérie). Neste caso, Baker e Newton¹¹ explicam os ganhos por meio do aumento da taxa de disparo muscular dos agonistas, causados por uma estimulação neural influenciada pela ação prévia dos antagonistas (denominada potenciação pós-tetânica). Apesar do estudo¹¹ ter avaliado a variável potência e músculos dos membros superiores (que podem ter uma especificidade diferente do que a de músculos dos membros inferiores), é provável supor que essa estratégia neural tenha ocorrido no nosso estudo e explique o mesmo desempenho e ativação eletromiográfica das modalidades CR e SS.

No entanto, vale destacar que no presente estudo houve uma queda de 14% do torque na condição SS para a última série, enquanto na condição CR a queda foi menor (10%). Mesmo apesar da ausência de significância, esta é uma observação prática importante, pois uma diferença de 4% entre os protocolos pode representar benefícios para um atleta ou indivíduo que está em processo de reabilitação e necessitam de força para realizar uma atividade específica. De fato, Roy et al.¹⁷ sugerem que as vantagens advindas das ações recíprocas se devem a estímulos facilitatórios dos órgãos tendinosos de golgi (OTG) dos músculos flexores e dos fusos musculares dos extensores, atribuídas à flexão prévia. Seus achados demonstram que a modalidade recíproca tende a gerar um maior torque dos extensores do joelho, o que poderia embasar a menor queda na condição CR. Ao que parece, tal resposta seria explicada por um evento neuromuscular causado pela ação do músculo flexor, que ativaria os OTGs e sua rede de motoneurônios, enquanto que, concomitantemente, os fusos musculares dos extensores (alongados) levariam a uma facilitação e melhor desempenho na contração subsequente. Kisner e Colby³ também sugerem que, durante a ativação concêntrica do agonista, o antagonista apresenta uma inibição recíproca que permite seu relaxamento e que, conseqüentemente, pode facilitar a ação do agonista. Tal resposta pode representar benefícios durante a realização de exercícios com séries múltiplas, no sentido de que a inibição recíproca possa diminuir a suscetibilidade à fadiga muscular ao longo das repetições e favorecer a manutenção de níveis adequados de torque e trabalho ao longo da sessão de exercício. No entanto, esta hipótese precisa ser confirmada em estudos agudos e crônicos (longitudinais), por meio do uso de índices baseados no cálculo de momentos espectrais, adequados à monitoração da fadiga durante contrações musculares dinâmicas²⁷.

Apesar da ausência de diferença estatística entre protocolos, o trabalho gerado pela CR apresentou valores maiores quando comparado a SS, principalmente nas duas últimas séries. Por sua vez, a análise intra-protocolos demonstrou que o desempenho da CR foi melhor, ou seja, teve menores quedas do trabalho, ao contrário da SS. As taxas de queda da CR e SS encontradas nas duas últimas séries (respectivamente, 5% e 14%; 7% e 22%) demonstram que o trabalho gerado por duas modalidades de exercício resistido

em condições controladas de velocidade, intensidade e séries podem impor desfechos importantes do treinamento. Tal achado aponta para as implicações práticas destacadas por Munn et al.²⁸ e Kelly et al.²⁹, os quais afirmam que aumentos na capacidade de trabalho podem determinar ganhos importantes de força durante o exercício resistido. Programas de exercício devem ser dinâmicos para induzir respostas fisiológicas e ganhos no desempenho, e as pesquisas devem avançar e incorporar outras variáveis que não apenas os efeitos de séries simples e múltiplas³⁰, aspecto muito discutido na literatura²⁸⁻³². Tran e Docherty³³ demonstram que o volume também pode ser expresso tanto pela multiplicação das repetições pela carga utilizada, quanto pelo tempo sob tensão durante a contração muscular. Quanto maior o tempo sob tensão, maior os efeitos deletérios no processo de excitação-contração das fibras musculares e, por conseguinte, maior a intensidade da fadiga periférica³³. Apesar de não ter sido mensurado no nosso estudo, é possível que no protocolo CR o grupamento extensor não tenha sido exposto de forma tão intensa (quanto o SS) a fatores relacionados à fadiga muscular periférica, o que poderia explicar a maior queda de trabalho (interpretado como a capacidade de gerar força por uma distância específica) no protocolo SS.

No presente estudo, não houve diferença nos valores do RMS entre protocolos, corroborando parcialmente com Robbins et al.¹³, que não encontraram diferenças de ativação eletromiográfica entre a SS e um método tradicional durante o exercício com três séries. Coburn et al.³⁴, ao aplicarem um treinamento de apenas três sessões com um protocolo tradicional de exercício de extensão do joelho (4 séries de 10 repetições a $30^{\circ} \cdot s^{-1}$ e $270^{\circ} \cdot s^{-1}$) também não encontraram diferenças no RMS pós-treinamento, o que representa um argumento quanto à ausência de diferença entre as modalidades, no nosso estudo. É ponto consensual na literatura que a amplitude do sinal eletromiográfico está relacionada com a ativação de unidades motoras, e que o domínio da frequência reflete a velocidade de condução do potencial de ação^{24,35}, caracterizando a EMG como importante ferramenta de avaliação das adaptações neurais pós-exercício. No estudo clássico de Moritani e deVries³⁶, foram encontrados aumentos na amplitude do sinal eletromiográfico após 2 semanas de treinamento, demonstrando que efeitos neurais foram responsáveis pelos aumentos de força na fase inicial. Os achados de Moritani e

deVries³⁶ e Coburn et al.³⁴ demonstram que talvez a natureza aguda do nosso estudo não tenha sido suficiente para determinar diferenças entre as modalidades CR e SS. Entretanto, a interação significativa entre protocolos e repetições, somada ao padrão visual das curvas, representam indícios de que no terço inicial do exercício a modalidade CR proporciona uma ativação mais intensa, que se mantém até o final. Vale destacar que uma das limitações do presente estudo foi a não avaliação da co-ativação dos músculos antagonistas. Outra limitação seria a falta de um grupo controle para melhor entender as respostas neuromusculares dos extensores do joelho sem uma prévia pré-carga dos antagonistas.

Dentre as aplicações clínicas dos protocolos, é possível destacar o aumento da estabilidade do joelho ao fortalecer grupamentos agonistas e antagonistas³⁷. Os músculos antagonistas proporcionam controle das forças mecânicas que causam instabilidade articular gerada durante a ação dos agonistas, demonstrando que o fortalecimento de grupamentos musculares antagonistas pode restaurar ou aumentar o equilíbrio muscular em uma articulação³⁸. Assim, as modalidades CR e SS implicam a redução do risco de lesões ao gerar maior estabilidade articular e, ao mesmo tempo, favorecer o ganho de força muscular³⁹. Neste sentido, recomenda-se que fisioterapeutas e profissionais da área desportiva incluam em suas estratégias de tratamento/treinamento, exercícios resistidos com ações recíprocas ou alternadas. Tais estratégias podem influenciar as habilidades neuromusculares necessárias para atividades que requerem controle motor de músculos primários e estabilizadores do joelho³, auxiliar na prevenção de desequilíbrios articulares⁴⁰ e na estabilização dinâmica em casos de deficiência do ligamento cruzado anterior³⁷. Neste caso, sugere-se o delineamento de estudos longitudinais para melhor verificar as possíveis adaptações resultantes dos protocolos CR e SS. Deste modo, será possível elucidar qual modalidade é mais eficaz para o ganho de força e para o desempenho muscular em diferentes populações.

Agradecimentos

Ao apoio financeiro da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF), processo n°. 2009/00212-2; e do CNPq (processos n. 306114/2009-7 e 474740/2009-9).

Referências

1. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, Housh TJ, Kibler WB, Kraemer WJ, Triplett NT. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009, 41(3):687-708.
2. ACSM. American College of Sports Medicine (ACSM). Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição. 7ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
3. Kisner C, Colby LA. Therapeutic exercise. Foundations and techniques. 5th ed. Philadelphia: Davis Company, 2007.
4. Warburton DER, Nicol CW, Bredin SSD. Prescribing exercise as preventive therapy. *CMAJ* 2006;174(7):961-74.
5. Traete RF, Pinto KNZ, Mattiello-Rosa SM. Relação entre a lesão condral e o pico de torque após reconstrução do ligamento cruzado anterior do joelho: estudo de casos. *Rev Bras Fisioter* 2007, 11(3):239-243.
6. Fleck SJ, Kraemer WJ. Fundamentos do treinamento de força muscular. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
7. Gentil P, Oliveira E, Fontana K, Molina G, Oliveira RJ, Bottaro M. Efeitos agudos de vários métodos de treinamento de força no lactato sanguíneo e características de cargas em homens treinados recreacionalmente. *Rev Bras Med Esp* 2006, 12(6):303-307.
8. Júnior VAR, Bottaro M, Pereira MCC, Andrade MM, Júnior PRWP, Carmo JC. Análise eletromiográfica da pré-ativação muscular induzida por exercício monoarticular. *Rev Bras Fisioter* 2010, 14(2):158-165.
9. Burke DG, Pelham TW, Holt LE. The influence of varied resistance and speed of concentric antagonistic contractions on subsequent concentric agonistic efforts. *J Strength Cond Res* 1999, 13(3):193-197.

10. Maynard J, Ebben WP. The effects of antagonist pre-fatigue on agonist torque and electromyography. *J Strength Cond Res* 2003, 17(3):469-474.
11. Baker D, Newton RU. Acute effect on power output of alternating an agonist and antagonist muscle exercise during complex training. *J Strength Cond Res* 2005, 19(1):202-205.
12. Kelleher AR, Hackney KJ, Fairchild TJ, Keslacy S, Ploutz-Snyder L. The metabolic costs of reciprocal supersets vs. traditional resistance exercise in young recreationally active adults. *J Strength Cond Res* 2010, 24(4):1043-1051.
13. Robbins DW, Young WB, Behm DG, Payne WR. The effect of a complex agonist and antagonist resistance training protocol on volume load, power output, electromyographic responses, and efficiency. *J Strength Cond Res* 2010, 24(7):1782-1789.
14. Bohannon RW. Knee Extension Torque During Repeated Knee Extension-Flexion Reversals and Separated Knee Extension-Flexion Dyads. *Phys Ther* 1985, 65(7):1052-1054.
15. Bohannon RW, Gibson DF, Larkin P. Effect of resisted knee flexion on knee extension torque. *Phys Ther* 1986, 66(8):1239-1241.
16. Grabiner MD, Hawthorne DL. Conditions of isokinetic knee flexion that enhance isokinetic knee extension. *Med Sci Sports Exerc* 1990, 22:235-244.
17. Roy MA, Sylvestre M, Katch FI, Katch VL, Lagasse PP. Proprioceptive facilitation of muscle tension during unilateral and bilateral knee extension. *Int J Sports Med* 1990, 11:289-292.
18. Miller JP, Croce RV, Hutchins R. Reciprocal coactivation patterns of the medial and lateral quadriceps and hamstrings during slow, medium and high speed isokinetic movements. *J Electromyography* 2000, 10:233-239.
19. Jeon HS, Trimble MH, Brunt D, Robinson ME. Facilitation of quadriceps activation following a concentrically controlled knee flexion movement: The influence of transition rate. *J Orthop Sports Phys Ther* 2001, 31(3):122-132.
20. Carregaro RL, Gentil P, Brown LE, Pinto RS, Bottaro M. Effects of antagonist pre-load on knee extensor isokinetic muscle performance. *J Sport Sci* 2011, 29(3):271-278.

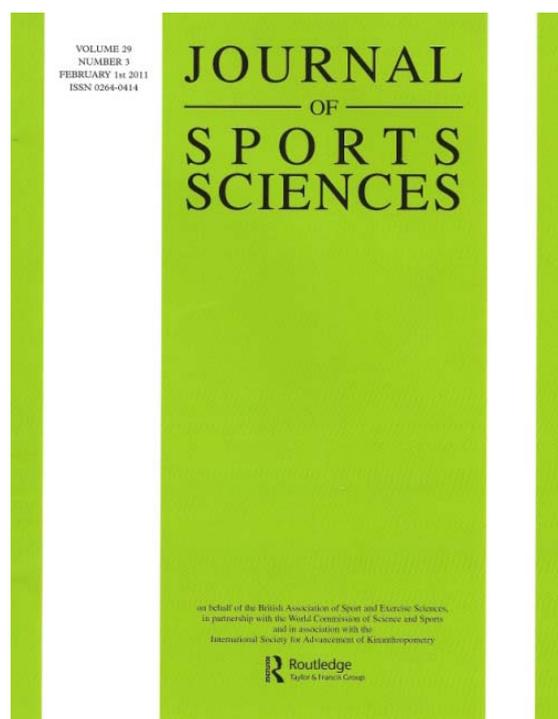
21. Parcell AC, Sawyer RD, Tricoli VA, Chinevere TD. Minimum rest period for strength recovery during a common isokinetic testing protocol. *Med Sci Sports Exerc* 2002, 34:1018-22.
22. Stumbo TA, Merriam S, Nies K, Smith A, Spurgeon D, Weir, JP. The effect of hand-grip stabilization on isokinetic torque at the knee. *J Strength Cond Res* 2001, 15(3):372-377.
23. Merletti R. Standards for Reporting EMG Data. International Society of Electrophysiology and Kinesiology, 1999.
24. Soderberg GL, Knutson LM. A guide for use and interpretation of kinesiological electromyographic data. *Phys Ther* 2000, 80:485-498.
25. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyography and Kinesiology* 2000, 10(5):361-374.
26. Basmajian JV, DeLuca CJ. *Muscles Alive. Their functions revealed by electromyography.* 5th ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1985.
27. Dimitrov GV, Arabadzhiev TI, Mileva KN, Bowtell JL, Crichton N, Dimitrova NA. Muscle fatigue during dynamic contractions assessed by new spectral indices. *Med Sci Sports Exerc* 2006, 38(11):1971-1979.
28. Munn J, Herbert RD, Hancock MJ, Gandevia SC. Resistance training for strength: Effect of number of sets and contraction speed. *Med Sci Sports Exerc* 2005, 37:1622–1626.
29. Kelly SB, Brown LE, Coburn JW, Zinder SM, Gardner LM, Nguyen D. The effect of single versus multiple sets on strength. *J Strength Cond Res* 2007, 21(4):1003-1006.
30. Galvão DA, Taaffe DR. Single- vs multiple-set resistance training: Recent developments in the controversy. *J Strength Cond Res* 2004, 18(3):660-667.
31. Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, Ball SD. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 2003, 35(3):456–464.
32. Humburg H, Hartmut B, Schröder J, Reer R, Braumann KM. 1-set vs. 3-set resistance training: a crossover study. *J Strength Cond Res* 2007, 21(2):578-582.
33. Tran QT, Docherty D. Dynamic training volume: A construct of both time under tension and volume load. *J Sports Sci Med* 2006, 5:707-713.

34. Coburn JW, Housh TJ, Malek MH, Weir JP, Cramer JT, Beck TW, Johnson TO. Neuromuscular responses to three days of velocity-specific isokinetic training. *J Strength Cond Res* 2006, 20(4):892–898.
35. Hassani A, Patikas D, Bassa E, Hatzikotoulas K, Kellis E, Kotzamanidis C. Agonist and antagonist muscle activation during maximal and submaximal isokinetic tests of the knee extensors. *J Electrom Kinesiol* 2006, 16:661-668.
36. Moritani T, DeVries HA. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 1979, 58(3):115-130.
37. Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, Shoji H, Bose W, Beck C, D'Ambrosia R. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med* 1987, 15(3):207:213.
38. Baratta R, Solomonow M, Zhou H, Letson D, Chuinard R, D'Ambrosia R. Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med* 1988, 16(2):113-122.
39. Andersen LL, Magnusson SP, Nielsen M, Haleem J, Poulsen K, Aagaard P. Neuromuscular activation in conventional therapeutic exercises and heavy resistance exercises: Implications for rehabilitation. *Phys Ther* 2006, 86(5):683-697.
40. Poletto P, Santos HH, Salvini TF, Coury HJCG, Hansson GA. Peak torque and knee kinematics during gait after eccentric isokinetic training of quadriceps in healthy subjects. *Rev Bras Fisioter* 2008, 12(4):331-337.

Artigo publicado no *Journal of Sports Sciences*

“Effects of antagonist pre-load on knee extensor isokinetic muscle performance”

Vol. 29, n. 3, pp 271-278, 2011



Effects of antagonist pre-load on knee extensor isokinetic muscle performance

RODRIGO L. CARREGARO^{1,2,3}, PAULO GENTIL^{1,2}, LEE E. BROWN⁴, RONEI S. PINTO⁵, & MARTIM BOTTARO^{1,2}

¹College of Physical Education, University of Brasilia, Brasilia, Brazil, ²College of Health Science, University of Brasilia, Brasilia, Brazil, ³School of Physical Therapy, Federal University of Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Brazil, ⁴Department of Kinesiology, California State University, Fullerton, California, USA, and ⁵Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil

(Accepted 1 October 2010)

Abstract

The aim of this study was to evaluate and compare acute effects of a reciprocal action protocol and a super-set protocol on knee extensor performance during concentric isokinetic exercise. Fourteen men aged 29.4 ± 6.1 years were tested on three different protocols, with 1 min of rest between sets: control (3 sets of 10 isokinetic knee extension repetitions), reciprocal action protocol (3 sets of 10 repetitions of reciprocal isokinetic concentric knee flexion and knee extension repetitions), and super-set protocol (3 sets of a combination of 10 repetitions of knee flexion immediately followed by 10 repetitions of knee extension repetitions). Tests were performed at $60^\circ \cdot s^{-1}$ and $180^\circ \cdot s^{-1}$, randomized across 3 days and separated by at least 72 h. There were no significant differences between protocols for peak torque at $60^\circ \cdot s^{-1}$ or $180^\circ \cdot s^{-1}$. Total work was significantly higher during the reciprocal action protocol compared with the super-set protocol at $60^\circ \cdot s^{-1}$. There was a significant decline in peak torque (from 240.6 to 212.9 N · m) and total work (from 2294 to 1899 J) for the control condition at $60^\circ \cdot s^{-1}$. Also, total work declined significantly across sets for the super-set protocol at $60^\circ \cdot s^{-1}$ (from 2157 to 1707 J). Results indicate that a reciprocal action protocol provides torque maintenance during multiple sets of isokinetic training, both at slow and high velocities.

Keywords: Muscle strength, isokinetic, resistance training, quadriceps muscle

Introduction

Resistance training has a fundamental role in physical activity programmes, and has been recommended by many major health organizations to improve general health and fitness (ACSM, 2000, 2009; Fletcher et al., 1995; Pollock et al., 2000). With the purpose of increasing muscle performance and achieving better results while reducing time spent during training sessions, many resistance training programmes have been developed, although few studies have assessed their relative effectiveness (Fleck & Kraemer, 2004).

Previous studies have shown that preloading a muscle can increase muscular force development and motor unit recruitment (Burke, Pelham, & Holt, 1999; Grabiner, 1994; Jeon, Trimble, Brunt, & Robinson, 2001; Kamimura & Takenaka, 2007; Roy, Sylvestre, Katch, Katch, & Lagasse, 1990; Tillin & Bishop, 2009). Preloading the muscles may involve

stretching the agonist muscle before a contraction, or activating the prime movers isometrically or eccentrically before performing a concentric action (Bosco & Komi, 1979; Bosco, Komi, & Ito, 1981; Ishikawa, Komi, Finni, & Kuitunen, 2006; McBride, McCaulley, & Cormie, 2008; Svantesson, Ernstoff, Bergh, & Grimby, 1991; Svantesson, Grimby, & Thomee, 1994). Another way to achieve preload is to perform a concentric antagonist muscle action immediately before a concentric agonist action (Jeon et al., 2001). This kind of preload, often referred to as reciprocal action, can be relevant in rehabilitation as well as in sports, as it may allow increased muscle performance and work capacity (Burke et al., 1999; Grabiner & Hawthorne, 1990; Jeon et al., 2001; Roy et al., 1990), and should also be considered as an area of future exploration for strength training research (Baker & Newton, 2005). Another way to combine agonist and antagonist muscle actions is to perform exercises with

opposing muscle groups, training them “back-to-back” with reduced rest, a system often known as super-set (Fleck & Kraemer, 2004). During super-set, multiple repetitions of agonist muscle actions are performed after a set of multiple repetitions of antagonist muscle actions is completed.

Although most of the literature suggests that reciprocal actions may favour agonist muscle performance, these studies were conducted using single repetitions (Burke et al., 1999; Grabiner & Hawthorne, 1990; Jeon et al., 2001; Roy et al., 1990), which may not be transferred to resistance training, where multiple repetitions are performed. Results regarding the effects of super-set in muscle performance are conflicting, as previous studies have found both a decrease (Maynard & Ebben, 2003) and an increase (Baker & Newton, 2005) in agonist muscle strength following a set of multiple actions of the antagonist muscle. Also, super-set typically involves multiple sets of 8–10 or more repetitions with little or no rest between sets (Fleck & Kraemer, 2004), and previous studies have performed only one set of five maximal knee extensions in pre-fatigued and non-fatigued conditions of the hamstring group (Maynard & Ebben, 2003), or one set of eight repetitions of bench throwing after one set of bench pulling (Baker & Newton, 2005).

Both reciprocal action and super-set training may be useful by allowing greater training volume in a shorter time. However, it is important to understand the influence of each system on muscle performance to design efficient resistance training programmes. Therefore, the purpose of this study was to evaluate and compare the acute effects of a reciprocal action protocol and a super-set protocol on knee extensor muscle performance during multiple sets of concentric isokinetic exercises.

Materials and methods

Participants

Fourteen healthy males (age 29.4 ± 6.1 years; height 1.78 ± 0.07 m; mass 82.6 ± 11.2 kg) were recruited for the study. All participants were physically active (engaged in some type of aerobic exercise, at least twice a week), but had not been resistance training for the last 6 months. Inclusion criteria were: age between 18 and 35 years and regular performance of physical activity. Participants were excluded if they presented a history of orthopaedic problems, such as fractures, surgery, and low back and lower limb pain over the past 6 months, a diagnosis of intervertebral disk herniation or cardiovascular diseases and hypertension.

All participants were notified of the research procedures, requirements, benefits, and risks before

providing informed consent. The Institutional Research Ethics Committee granted approval for the study.

Dynamometry

A Biodex System 3 isokinetic dynamometer (Biodex Medical, Shirley, NY) was used for all testing. The software Biodex Advantage version 3 was used for data collection and processing. Calibration of the dynamometer was performed according to the manufacturer's specifications before each test. Participants sat upright with the axis of rotation of the dynamometer arm oriented with the lateral femoral condyle of their dominant leg. Belts were used to secure the thigh, pelvis, and trunk to the dynamometer chair to prevent additional body movement. The hip angle was determined by chair position standardized at 100° for all participants (full extension considered as 180°). Gravity correction was obtained by measuring the torque exerted on the dynamometer resistance adapter with the knee relaxed near full extension. The chair and dynamometer settings were recorded to ensure the same positioning for all tests. Concentric contractions were performed isokinetically at $60^\circ \cdot s^{-1}$ and $180^\circ \cdot s^{-1}$, with an overall range of motion of 85° and full extension acting as the reference point (full extension as 0°). The knee strap was released during each rest period to ensure unrestricted blood flow to the quadriceps.

Consistent and identical verbal encouragement was provided during each test session by the same investigator. Participants were instructed to place their hands on their chest and hold the straps during the exercises (Stumbo et al., 2001), and were instructed to fully extend and flex the knee and to work maximally during each set. Total work was the sum of the work output of each repetition. Knee extensor peak torque was the highest torque output at any angle (within the load range) on each set. The angle where peak torque occurred (peak torque angle) was also recorded. All variables were used as dependent variables. The load range signals were assessed through the dynamometer DB-15 female interface (Biodex, 1998), which provides real-time analog signals of torque, angular velocity, and angular position. An adaptor was built to get the signals from the DB-15 interface into three separate BNC connectors to a digitizer board (BNC-2120, National Instruments, TX, USA), which sampled the biomechanical signals at 2000 samples per second, and converted them to digital data via a 12-bit analog-to-digital converter. The isokinetics phases for $60^\circ \cdot s^{-1}$ and $180^\circ \cdot s^{-1}$, using the algorithm proposed by Schwartz and colleagues (Schwartz, Bottaro, Celes, Brown, & Nascimento,

2010), were 10° and 12° for acceleration, 60° and 49° for load range, and 15° and 24° for deceleration respectively.

Exercise protocol

To prevent possible fatigue effects, volunteers were instructed to visit the laboratory on three different occasions, with an interval of at least 72 h between visits. In the 24 h that preceded test days, volunteers were instructed to avoid performing exercise and ingesting nutritional supplements or ergogenic aids. Prior to testing, all participants warmed up for 10 min on a cycle ergometer at $20\text{--}30\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, with a resistance of approximately 25 W. Following the warm-up, participants were positioned on the dynamometer and received instructions about the test protocols and perceived exertion scale. For familiarization purposes, participants performed two sets of five repetitions of sub-maximal knee flexion-extension at $60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ and $180^\circ\cdot\text{s}^{-1}$, with 2 min rest between sets.

Participants were tested on three different protocols: (1) control protocol, (2) reciprocal action protocol, and (3) super-set protocol. During the control protocol, participants performed 3 sets of 10 repetitions of concentric isokinetic knee extension, with a rest interval of 1 min between sets. In the reciprocal action protocol, they performed 3 sets of 10 repetitions of reciprocal isokinetic concentric knee flexion and knee extension (one repetition was defined as one concentric knee flexion followed by one concentric knee extension), with 1 min rest between sets. During the super-set protocol, they performed 3 sets of a combination of 10 repetitions of knee flexion immediately followed by 10 repetitions of knee extension, with 1 min rest after the knee extension repetitions. All tests were performed at $60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ and $180^\circ\cdot\text{s}^{-1}$, with 10 min of rest between velocities. Test protocol and velocity order were randomly assigned for each participant. Participants were also asked to provide a rating of perceived exertion after each protocol using the OMNI Resistance Exercise Scale (Robertson et al., 2003).

Statistical analysis

For data analysis, we used the Statistical Package for Social Sciences (SPSS) software version 13.0. Data are expressed as means and standard deviations ($\text{mean} \pm s$), as distribution normality was investigated using the Shapiro-Wilks test. One-way repeated-measures analysis of variance (ANOVA) was used to compare perceived exertion scores. Factorial ANOVA [protocol (control protocol, reciprocal action protocol, and superset protocol) \times sets (1, 2,

and 3)] was used to test for differences in dependent variables (total work, peak torque, and peak torque angle). Mauchly's test of sphericity was applied and, if violated, analyses were performed using a Greenhouse-Geisser correction. Multiple comparisons with confidence interval adjustment by the Bonferroni procedure were used *post-hoc*. Statistical significance was set at $P < 0.05$.

Results

There were no significant differences in perceived exertion between protocols at either velocity ($P > 0.05$). At $60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$, ratings of perceived exertion for control protocol, reciprocal action protocol, and superset protocol were 9 ± 1 , 8 ± 1 , and 9 ± 1 , respectively. At $180^\circ\cdot\text{s}^{-1}$, ratings for control protocol, reciprocal action protocol, and superset protocol were 7 ± 2 , 7 ± 1 , and 7 ± 1 , respectively.

Between-groups comparisons are presented in Table I. There was no protocol \times set interactions for peak torque at $60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$. However, the results exhibited a significant interaction for total work between protocols and sets for the reciprocal action protocol ($P=0.01$) and superset protocol ($P=0.02$) groups but not for the control protocol group at $60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$. The statistics revealed that total work at $60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ was significantly greater ($P=0.034$) during the third set, when the reciprocal action protocol was compared with the superset protocol. There were no interactions between protocols and sets for peak torque and total work at $180^\circ\cdot\text{s}^{-1}$.

Within-groups comparisons are also presented in Table I. During the control protocol performed at $60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$, peak torque and total work showed significant decreases across sets with values for set 1 $>$ set 2 $>$ set 3 ($P=0.009$ for set 1 vs. set 3, $P=0.003$ for set 1 vs. set 2, and $P=0.001$ for set 2 vs. set 3). At $180^\circ\cdot\text{s}^{-1}$, total work in set 3 was significantly less than in sets 1 and 2 ($P=0.002$). There was no difference for peak torque among sets at $180^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ ($P > 0.05$). Results for the superset protocol performed at $60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ showed that peak torque during set 3 was significantly lower than during sets 1 and 2 ($P=0.000$ and $P=0.002$, respectively). Total work decreased significantly with sets, with values for set 1 $>$ set 2 $>$ set 3 ($P=0.001$ for set 1 vs. set 3, $P=0.007$ for set 1 vs. set 2, and $P=0.003$ for set 2 vs. set 3). During the superset protocol performed at $180^\circ\cdot\text{s}^{-1}$, peak torque and total work in set 1 was significantly higher than in sets 2 and 3 ($P=0.013$). For the reciprocal action protocol performed at $60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$, peak torque did not differ between sets ($P > 0.05$), while total work was decreased in set 3 compared with sets 1 and 2 ($P=0.028$ and $P=0.019$, respectively). At $180^\circ\cdot\text{s}^{-1}$, both peak torque and total work were

Table I. Peak torque, total work, and peak torque angle, at $60^\circ \cdot s^{-1}$ and $180^\circ \cdot s^{-1}$ across control (CON), super-set (SSP), and reciprocal action (RAP) protocols (mean \pm s).

	Knee extensor peak torque (N \cdot m)			Total work (J)			Peak torque angle ($^\circ$)		
	Set 1	Set 2	Set 3	Set 1	Set 2	Set 3	Set 1	Set 2	Set 3
$60^\circ \cdot s^{-1}$									
CON	240.6 \pm 32.6	228.9 \pm 28.4*	212.9 \pm 34.0**	2294.2 \pm 321.1	2125.0 \pm 283.8*	1899.3 \pm 305.0**	71.0 \pm 6.4	69.5 \pm 6.8	70.4 \pm 7.1
SSP	232.6 \pm 33.3	222.8 \pm 30.5	199.8 \pm 30.9**	2156.6 \pm 366.8	1953.2 \pm 299.5*	1707.3 \pm 266.6**	62.7 \pm 6.8	69.5 \pm 5.2	71.0 \pm 7.7
RAP	231.5 \pm 36.7	223.2 \pm 34.9	218.3 \pm 42.0	2226.1 \pm 304.3	2124.1 \pm 286.8	2001.0 \pm 304.5**#	67.2 \pm 9.1	67.0 \pm 8.8	66.2 \pm 7.6
$180^\circ \cdot s^{-1}$									
CON	174.3 \pm 27.6	169.5 \pm 25.6	164.4 \pm 27.5	1775.2 \pm 314.7	1701.4 \pm 305.9	1603.1 \pm 306.5**	65.7 \pm 6.7	68.2 \pm 6.8	67.2 \pm 6.2
SSP	168.5 \pm 22.8	159.7 \pm 21.1*	155.9 \pm 21.4*	1671.4 \pm 218.7	1504.6 \pm 226.6*	1449.9 \pm 221.7*	66.7 \pm 6.6	67.4 \pm 10.5	69.2 \pm 7.6
RAP	167.3 \pm 29.6	168.1 \pm 29.8	161.9 \pm 21.2*	1744.3 \pm 341.7	1706.4 \pm 319.5	1643.5 \pm 293.1*	65.8 \pm 7.9	64.7 \pm 9.8	63.5 \pm 8.0

*Significantly less than set 1 ($P < 0.05$). **Significantly less than set 2 ($P < 0.05$). #Significantly greater than super-set protocol ($P = 0.034$).

different only between sets 2 and 3 ($P = 0.02$). The percent declines in peak torque and total work throughout the three sets for all exercise groups (control protocol, reciprocal action protocol, and superset protocol) and velocities are illustrated in Figures 1 and 2.

The peak torque angle was constant throughout series and did not present significant differences between protocols ($P > 0.05$). Also, there was no interaction between protocols and velocities. These findings are presented in Table I.

Discussion

The aims of this study were twofold: (1) to determine whether flexing the knee by concentric hamstrings activation immediately before knee extension (reciprocal action protocol) enhances knee extensor performance during multiple sets of isokinetic resistance exercise; and (2) to determine whether three sets of flexing the knee 10 times prior to 10 repetitions of knee extension (super-set protocol) influences knee extensor peak torque, total work, and peak torque angle. The main finding was that the reciprocal action protocol demonstrated an increased ability to maintain peak torque and total work compared with the control and super-set protocols. Also, the angle at which peak torque occurred was constant throughout series and did not show difference between protocols.

In the present study, we found no performance improvement with the reciprocal action protocol during the first set. This is in contrast to other studies that reported a performance-enhancing effect with a reciprocal action protocol (Bohannon, 1985; Burke et al., 1999; Grabiner & Hawthorne, 1990; Jeon et al., 2001). This may be due to the fact that previous studies focused on different goals, such as understanding the agonist performance during different velocities (Burke et al., 1999; Grabiner & Hawthorne, 1990; Jeon et al., 2001) or the effect of reciprocal agonist/antagonist contractions on paretic quadriceps femoris muscles (Bohannon, 1985). Despite finding no performance-enhancing effect in the first set, there was such an effect in the subsequent sets: the decline in peak torque and total work, at $60^\circ \cdot s^{-1}$, from the first set to the third set during the reciprocal action protocol was almost half (5.5, 10.0, and 10.0% respectively) the decline in the control protocol (11.0, 17.0, and 18.1% respectively). One possible explanation is that participants were already fully activated in the first repetition or set, but after multiple sets central fatigue set in and influenced quadriceps activation. In this sense, it is possible that the reciprocal action protocol findings during multiple sets are the result of facilitatory influences from both the Golgi tendon organ of the

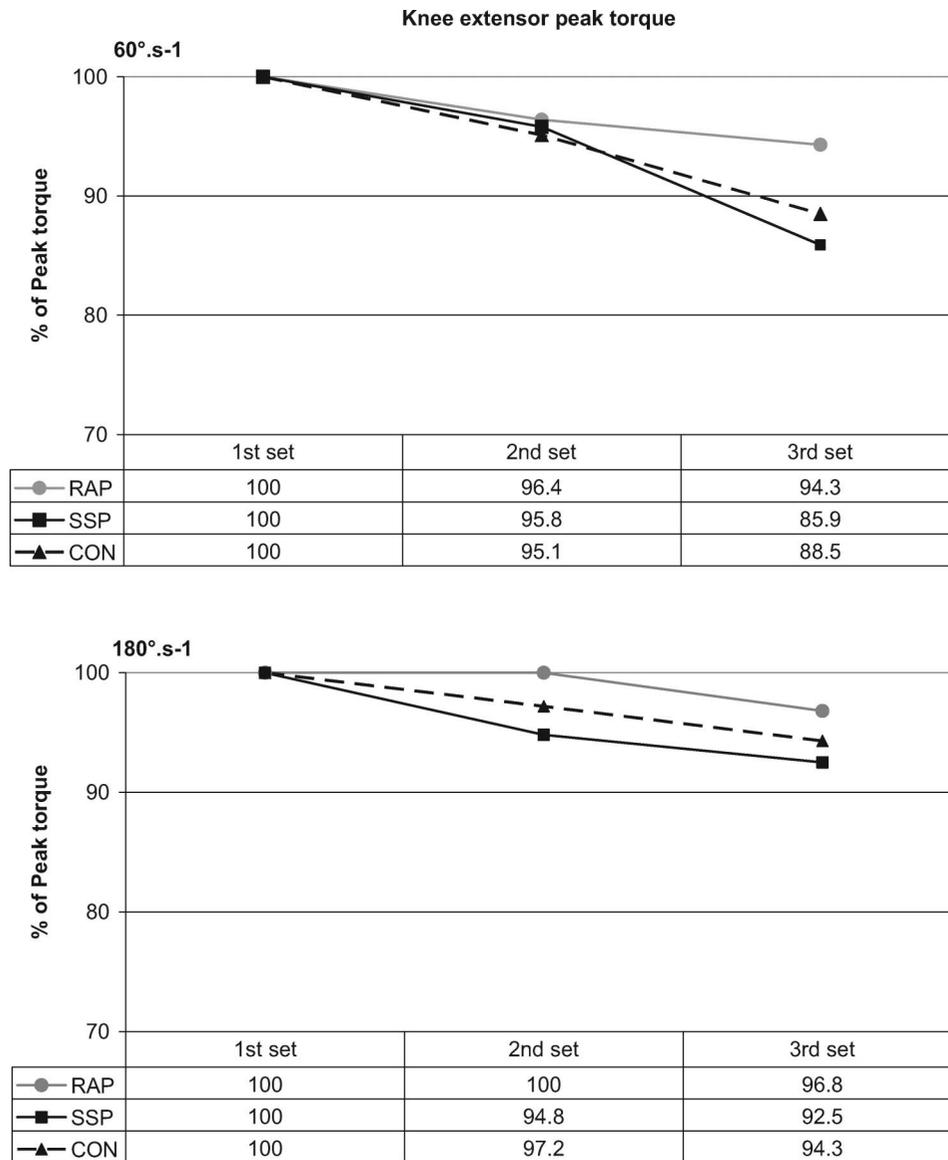


Figure 1. Decline (%) in knee extensor peak torque ($\text{N} \cdot \text{m}$) between sets 1, 2, and 3 for control (CON), reciprocal action (RAP), and super-set (SSP) protocols, at velocities of $60^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ and $180^\circ \cdot \text{s}^{-1}$.

knee flexors and the muscle spindles of the knee extensors, attributable to the preceding knee flexion (Roy et al., 1990).

Previous reciprocal action protocol studies demonstrated that one concentric action of the knee flexors (antagonist) immediately followed by one quadriceps action (agonist) leads to increases in knee extensor torque (Bohannon, 1985; Burke et al., 1999; Grabiner & Hawthorne, 1990; Jeon et al., 2001) and greater electromyographic amplitude of the quadriceps muscle (Jeon et al., 2001). Roy et al. (1990) also demonstrated that knee extensor peak torque output was greater during unilateral knee flexion immediately followed by knee extension. As Roy et al. (1990) stated, during a dynamic muscle contraction, the contracting muscle is inhibited by its own Golgi tendon organs and by the muscle spindles

of its stretched antagonist. Simultaneously, facilitation from both types of receptors acts on the resting antagonist muscle and the consequences of such proprioceptive influences are that the agonist muscle becomes less excitable while its antagonist increases in excitability. Since the effects can last for a few seconds, a motor command arriving from higher motor control centres on the antagonist muscle motoneuron pool during that time interval results in the recruitment of a greater number of motor units and the generation of a correspondingly higher muscle torque output. This would support our findings during multiple sets of resistance exercise. However, comparisons between the present and previous studies may be limited by differences in study protocols, since most previous research used single sets and repetitions and, to date, this is the first

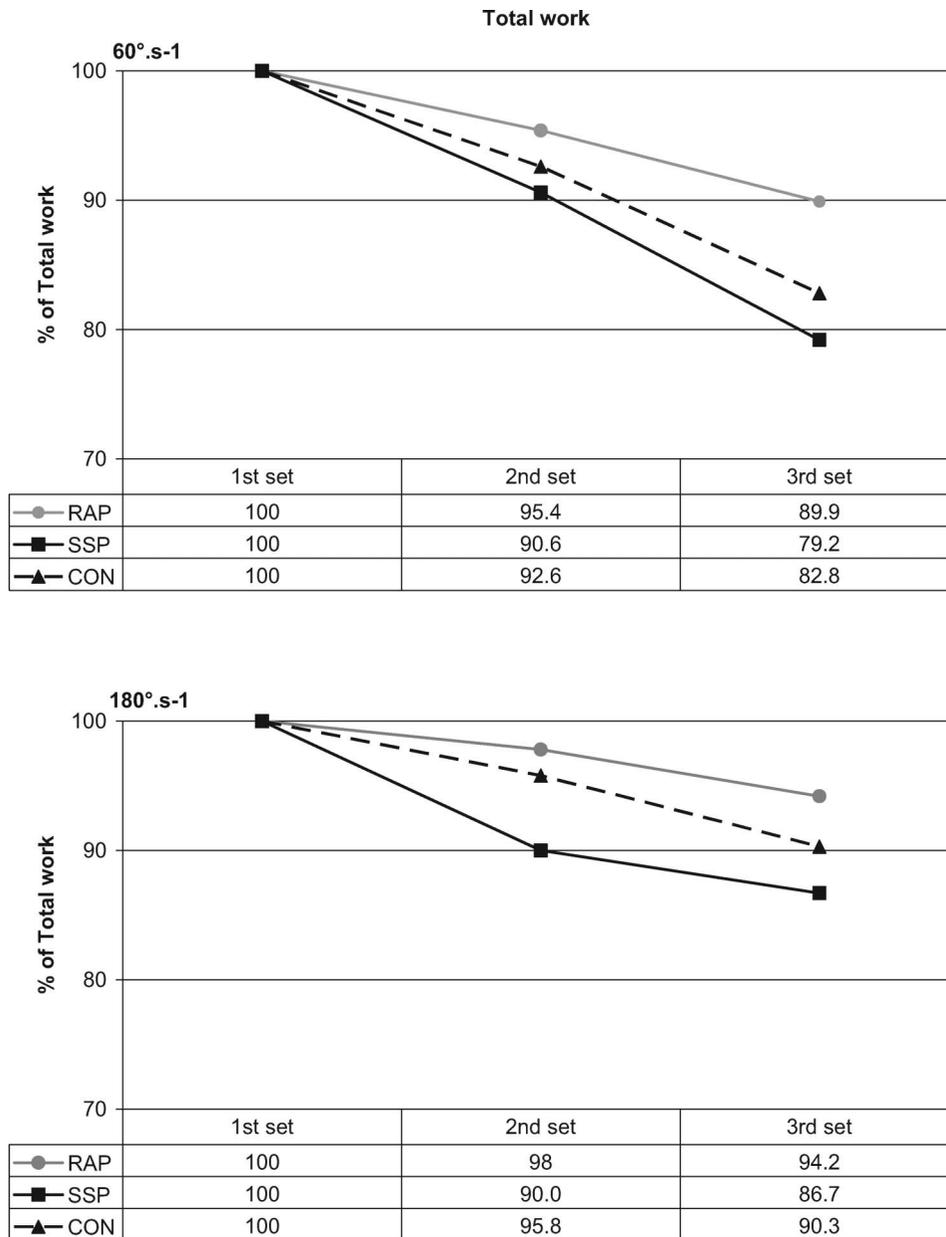


Figure 2. Decline (%) in total work (J) between sets 1, 2, and 3 for control (CON), reciprocal action (RAP), and super-set (SSP) protocols, at velocities of $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ and $180^{\circ} \cdot s^{-1}$.

known study to investigate the effects of a reciprocal action protocol during multiple sets and repetitions of a resistance exercise; however, some physiological mechanisms may be similar.

In contrast with the reciprocal action protocol, we found similar declines in peak torque and total work from the first set to the third set in the super-set protocol (14.2 and 21.0% respectively) and control protocol (11.0 and 17.0% respectively). Maynard and Ebben (2003) reported a decrease in strength capacity and power on the subsequent muscle action during a single set of five maximum repetitions of knee flexion followed by five repetitions of knee extension (a similar super-set protocol) in 20 college-

aged male wrestlers. On the other hand, Baker and Newton (2005) reported that power output was increased as a result of a set of eight repetitions of bench pulls prior to five repetitions of bench press throws in 24 college-aged rugby league players. They suggested that the power output augmentation was due to a neural strategy of enhanced reciprocal inhibition of the antagonist musculature, which prevented agonist fatigue and potentiated performance. The differences between Baker and Newton (2005) and our study may be related to the protocol used. Baker and Newton examined the acute effect on power output of alternating agonist and antagonist muscle exercises

during typical complex power training, also known as contrast training. They used rapid upper-body pulling movements alternated with rapid throwing movements. We used a typical hypertrophy resistance exercise protocol (ACSM, 2009). Also, they had 3 min of rest between antagonist and agonist actions whereas no rest was allowed in the present study. These differences may have resulted in a more fatiguing protocol during the present study.

During the reciprocal action protocol performed at $180^\circ \cdot s^{-1}$, total work presented a significant decline only between sets 2 and 3, demonstrating that the participants had significant decreases in training volume only at the end of the session. This finding may have important practical applications, as Munn and colleagues (Munn, Herbert, Hancock, & Gandevia, 2005) demonstrated that a higher volume of resistance training can produce approximately twice the increase in strength, inducing further strength adaptations even in the acute phase of training. Although there were no significant differences in our study between exercises (except for total work at $60^\circ \cdot s^{-1}$, between the reciprocal action protocol and super-set protocol at the third set), it is important to emphasize that participants worked with appropriate intensity on both exercises, thus the lower decrease in total work output observed during the reciprocal action protocol performed at $180^\circ \cdot s^{-1}$ appears to be beneficial for the production of optimal muscular performance (Hatfield et al., 2006).

The velocities adopted in our study were based on practical concerns (velocities close to those used in isoinertial or free-weight conditions) and findings from other authors, which demonstrated that for reciprocal actions, participants were able to generate high torques at velocities ranging from $30^\circ \cdot s^{-1}$ to $150^\circ \cdot s^{-1}$ (Grabiner & Hawthorne, 1990; Jeon et al., 2001). The velocity of $180^\circ \cdot s^{-1}$ was based on results from Baker and Newton (2005), who reported increased power output as a result of reciprocal agonist/antagonist training during bench pulls. Nonetheless, future studies should address the effects of different velocities on the torque and work output of these exercises, both in short-term and long-term training, and also consider if these effects differ between lower and upper body muscle groups.

Results from reciprocal actions of agonist/antagonist muscles may promote advantages in muscle performance, which should be confirmed in chronic studies. Exercise regimens performed using a reciprocal action protocol, as in the present study, may also be less time-consuming and could be of interest in clinical practice of physical therapy as well as sports training (Brown & Whitehurst, 2003; Coburn et al., 2006). In this sense, short-term and chronic studies are necessary to elucidate if individuals

performing a reciprocal action protocol can achieve greater gains in strength and total work output compared with a control protocol or super-set protocol. Furthermore, torque maintenance during multiple sets of resistance exercise has relevant practical applications for strength gains, since a total work decline in individuals performing a reciprocal action protocol at $60^\circ \cdot s^{-1}$ was about half that (10.0%) in both a control protocol (17.0%) and a super-set protocol (21.0%).

Conclusion

The present results indicate that immediate agonist/antagonist reciprocal action exercise provides torque maintenance at both $60^\circ \cdot s^{-1}$ and $180^\circ \cdot s^{-1}$ during multiple sets of isokinetic exercise. These findings also suggest that the reciprocal action exercise provides a smaller decline in resistance training work output. It is recommended that these methods be compared in chronic experimental strength training studies.

Acknowledgements

The authors would like to thank FINATEC for their financial support (process no 1744/2006).

References

- American College of Sports Medicine (2000). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (6th edn.). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- American College of Sports Medicine (2009). American College of Sports Medicine position stand: Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*, 687–708.
- 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*, 202–205.
- Bohannon, R. W. (1985). Knee extension torque during repeated knee extension–flexion reversals and separated knee extension–flexion dyads. *Physical Therapy*, *65*, 1052–1054.
- Bosco, C., & Komi, P. V. (1979). Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiologica Scandinavica*, *106*, 467–472.
- Bosco, C., Komi, P. V., & Ito, A. (1981). Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiologica Scandinavica*, *111*, 135–140.
- Brown, L. E., & Whitehurst, M. (2003). The effect of short-term isokinetic training on force and rate of velocity development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *17*, 88–94.
- Burke, D. G., Pelham, T. W., & Holt, L. E. (1999). The influence of varied resistance and speed of concentric antagonist contractions on subsequent concentric agonist efforts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *13*, 193–197.
- Coburn, J. W., Housh, T. J., Malek, M. H., Weir, J. P., Cramer, J. T., Beck, T. W., et al. (2006). Neuromuscular responses to three days of velocity-specific isokinetic training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *20*, 892–898.

- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (2004). *Designing resistance training programs* (4th edn.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Fletcher, G. F., Balady, G., Froelicher, V. F., Hartley, L. H., Haskell, W. L., & Pollock, M. L. (1995). Exercise standards: A statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation*, *91*, 580–615.
- Grabiner, M. D. (1994). Maximum rate of force development is increased by antagonist conditioning contraction. *Journal of Applied Physiology*, *77*, 807–811.
- Grabiner, M. D., & Hawthorne, D. L. (1990). Conditions of isokinetic knee flexion that enhance isokinetic knee extension. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *22*, 235–244.
- Hatfield, D. L., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Häkkinen, K., Volek, J. F., Shimano, T., et al. (2006). The impact of velocity of movement on performance factors in resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *20*, 760–766.
- Ishikawa, M., Komi, P. V., Finni, T., & Kuitunen, S. (2006). Contribution of the tendinous tissue to force enhancement during stretch–shortening cycle exercise depends on the prestretch and concentric phase intensities. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *16*, 423–431.
- 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. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *31*, 122–129; discussion 130–122.
- Kamimura, T., & Takenaka, T. (2007). Potentiation of knee extensor contraction by antagonist conditioning contraction at several intensities. *Journal of Physiological Anthropology*, *26*, 443–447.
- Maynard, J., & Ebben, W. P. (2003). The effects of antagonist pre-fatigue on agonist torque and electromyography. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *17*, 469–474.
- McBride, J. M., McCaulley, G. O., & Cormie, P. (2008). Influence of preactivity and eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *22*, 750–757.
- Munn, J., Herbert, R. D., Hancock, M. J., & Gandevia, S. C. (2005). Resistance training for strength: Effect of number of sets and contraction speed. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *37*, 1622–1626.
- Pollock, M. L., Franklin, B. A., Balady, G. J., Chaitman, B. L., Fleg, J. L., Fletcher, B., et al. (2000). AHA Science Advisory. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: benefits, rationale, safety, and prescription: An advisory from the Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention, Council on Clinical Cardiology, American Heart Association; Position paper endorsed by the American College of Sports Medicine. *Circulation*, *101*, 828–833.
- Robertson, R. J., Goss, F. L., Rutkowski, J., Lenz, B., Dixon, C., Timmer, J., et al. (2003). Concurrent validation of the OMNI Perceived Exertion Scale for Resistance Exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *35*, 333–341.
- Roy, M. A., Sylvestre, M., Katch, F. I., Katch, V. L., & Lagasse, P. P. (1990). Proprioceptive facilitation of muscle tension during unilateral and bilateral knee extension. *International Journal of Sports Medicine*, *11*, 289–292.
- Schwartz, F. P., Bottaro, M., Celes, R. S., Brown, L. E., & Nascimento, F. A. O. (2010). The influence of velocity overshoot movement artifact on isokinetic knee extension tests. *Journal of Sports Science and Medicine*, *9*, 140–146.
- Stumbo, T. A., Merriam, S., Nies, K., Smith A., Spurgeon, D., & Weir, J. P. (2001). The effect of hand-grip stabilization on isokinetic torque at the knee. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *15*, 372–377.
- Svantesson, U., Ernstoff, B., Bergh, P., & Grimby, G. (1991). Use of a Kin-Com dynamometer to study the stretch–shortening cycle during plantar flexion. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *62*, 415–419.
- Svantesson, U., Grimby, G., & Thomee, R. (1994). Potentiation of concentric plantar flexion torque following eccentric and isometric muscle actions. *Acta Physiologica Scandinavica*, *152*, 287–293.
- Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, *39*, 147–166.