

Informe uma subárea do item 7 das Normas de Submissão de Trabalho. Ex.: 4.08.99–Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

EFEITOS AGUDOS DA CRIOTERAPIA POR IMERSÃO NA FORÇA ISOMÉTRICA MÁXIMA, ATIVAÇÃO ELETROMIOGRÁFICA E FADIGA PERCEBIDA NO MÚSCULO *RECTUS FEMORIS*

Fernando Sérgio Silva Barbosa^{1*}, Jair José Gaspar-Júnior², Ana Paula Anghinoni³, Charles Taciro⁴, Paula Felipe Martinez⁵, Silvio Assis de Oliveira-Júnior⁵

1. Professor Doutor, Departamento de Ciências da Educação da Universidade Federal de Rondônia, Campus de Ariquemes (DECED-UNIR)
2. Aluno de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (PPGSD-UFMS)
3. Aluna do Curso de Fisioterapia, Instituto Integrado de Saúde (INISA/ UFMS)
4. Professor Doutor, Curso de Fisioterapia, INISA/ UFMS
5. Professor(a) Doutor(a), Curso de Fisioterapia e Orientador(a) no PPGSD-UFMS

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar a força máxima (FM), ativação do *rectus femoris*, fadiga percebida e associação entre fadiga percebida e FIM. Os participantes foram estudantes universitários, que se submeteram a protocolo de exaustão dos extensores do joelho. Na sequência, foram distribuídos em dois grupos: de recuperação passiva (RP) ou crioterapia (CI). Antes, imediatamente após, 15 e 30 minutos após a exaustão, FIM, parâmetros eletromiográficos (EMG) e fadiga percebida foram então registrados. Como resultados, a FIM reduziu em todos os grupos ($p < 0.05$), com subsequente elevação no grupo RP. O mesmo comportamento foi observado para fadiga percebida. Parâmetros EMG permaneceram na maioria dos grupos sem modificação. A recuperação ocorreu apenas em alguns casos. Correlações altas foram observadas entre fadiga percebida e FIM ou parâmetros EMG apenas nos grupos RP. Assim, a FIM demonstrou ser um índice confiável; a maioria dos parâmetros EMG não demonstrou variação em função da fadiga ou recuperação. A escala de Borg foi um adequado preditor da fadiga e capacidade de geração de força.

Autorização legal: Aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul sob número 1.151.455.

Palavras-chave: fadiga muscular; ativação muscular; recuperação pós-esforço.

Apoio financeiro: Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) –59/300.400/2015.

Introdução

Diferentes modalidades esportivas requerem esforço máximo em sua prática, o que causa intensa ativação dos músculos esqueléticos, com subsequente decréscimo da função contrátil, o que pode ser reversível após repouso (WASTERBLAD; BRUTON; KATZ, 2010). Classicamente, esse declínio de força durante esforços máximos ou submáximos é definido como fadiga muscular (GANDEVIA, 2010). Para reverter os efeitos negativos de um exercício extenuante, além da recuperação passiva (RP), têm sido utilizadas diferentes intervenções, como a crioterapia por imersão (CI) (FONSECA *et al.*, 2016). Contudo, ainda hoje a aplicação da CI segue critérios fundamentados apenas na experiência particular de cada atleta ou equipe, ainda que seus benefícios para a melhora das diferentes capacidades físicas já tenham sido demonstradas (GARCIA; MOTA; MAROCOLO, 2016).

Ao longo dos anos, pesquisadores têm investigado essa modalidade, entretanto, algumas limitações permanecem em relação aos parâmetros utilizados, tais como temperatura da água (BROPHY-WILLIAMS; LANDERS; WALLMAN, 2011) e tempo de imersão (PEAK *et al.*, 2017), o que dificulta a confirmação da eficiência do uso da CI na recuperação pós-esforço (RPE). A principal proposta deste estudo foi avaliar a força isométrica máxima (FIM) dos extensores do joelho sob as condições de presença e ausência de fadiga muscular, assim como em diferentes protocolos de CI. Um objetivo adicional foi analisar como os voluntários classificam a fadiga percebida (fadiga subjetiva) nas mesmas condições anteriores e o nível da correlação entre parâmetros objetivos e subjetivos.

Metodologia

A casuística integrou 25 estudantes universitários da UFMS. Os critérios de inclusão foram sexo masculino, idade entre 18 e 33 anos e nenhuma contraindicação para a CI, enquanto os critérios de exclusão foram presença de lesão musculoesquelética no membro inferior dominante nos dois meses que antecederam os testes e atividades ocupacionais ou de vida diária, responsáveis por esforço que não permitisse a recuperação dos voluntários no momento dos testes. Uma semana antes dos testes houve familiarização dos

voluntários com os procedimentos de estudo. Todos os testes foram realizados no Laboratório de Estudo do Músculo Estriado (LEME), na Clínica Escola Integrada da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Os voluntários foram distribuídos em grupo controle e CI; após a exaustão, os grupos foram mantidos em repouso (RP) ou submetidos a CI, com temperaturas (5 ou 10°C) e tempos de imersão (5 ou 10 minutos) variáveis, formando grupos nomeados conforme esse parâmetros (CI-5/5; CI-5/10; CI-10/5; CI-10/10). Inicialmente, a FIM foi determinada por meio de um teste contração isométrica voluntária máxima (CIVM). Para isso, os voluntários realizaram 3 CIVM e a média foi definida como a FIM. Os testes para a extensão do joelho foram sempre realizados na posição sentada contra uma célula de carga com o joelho a 90° de flexão. Cada esforço máximo teve duração de 3 segundos. Na sequência, um teste de exaustão na mesma postura foi utilizado em intensidade correspondente a 40 ou 80% da FIM.

Após a exaustão, voluntários do grupo RP foram mantidos em posição sentada em repouso enquanto voluntários dos grupos CI foram mantidos em posição ortostática em um recipiente plástico com ambos os membros inferiores integralmente submersos. A temperatura da água foi controlada constantemente. Durante a CIVM e os testes de exaustão, a atividade eletromiográfica (EMG) do músculo *rectus femoris* (RF) foi registrada simultaneamente ao nível de força. Após procedimentos para minimização da impedância da pele, eletrodos de superfície foram posicionados de acordo com os padrões SENIAM. Valores de *root meansquare* (RMS) e frequência mediana (FM) foram obtidos da atividade EMG registrada durante as CIVM realizadas antes, imediatamente após, 15 e 30 minutos após a exaustão. Os voluntários também foram avaliados em relação à fadiga auto-percebida (fadiga subjetiva), utilizando a escala de Borg CR-10.

Para a análise estatística, primeiramente, a normalidade dos dados foi testada utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov. Os valores de RMS e FM, assim como da fadiga percebida dos quatro momentos, foram comparados por meio do teste de ANOVA no modelo de medidas repetidas, seguido por teste *post-hoc* de Tukey para dados paramétricos. O procedimento com Kruskal-Wallis e teste *post-hoc* de Dunn foi utilizado para dados não paramétricos. O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para verificar possíveis associações entre fadiga percebida e variáveis EMG. O programa GraphPadInStat versão 3.06 foi utilizado com nível de significância estabelecido em $p < 0.05$.

Resultados e Discussão

Não foram constatadas diferenças estatísticas entre os grupos ($p > 0.05$) nos dados demográficos e antropométricos, assim como na FIM. Os resultados do grupo RP, com relação à força e fadiga percebida nos quatro momentos investigados, demonstraram diferenças significativas em ambos os níveis de esforço com reduções significativas da FIM e elevação da fadiga percebida, imediatamente após a exaustão e o inverso ocorrendo também de forma significativa aos 15 e 30 minutos, indicando a recuperação desta variável.

Os grupos CI-5/5 e CI-5/10 mostraram reduções significativas da FIM, imediatamente após a exaustão sem mudanças adicionais em 15 e 30 minutos; os grupos CI-10/5 e CI-10/10 revelaram FIM inalterada nos quatro momentos. Em relação à fadiga percebida nos grupos CI, houve elevação da mesma em todos os grupos após a exaustão, sem que houvesse redução desta variável de modo predominante nos momentos subsequentes, indicando assim a não recuperação da mesma. O decréscimo da força máxima em resposta à exaustão ocorreu em decorrência da fadiga muscular e pode ser atribuído a alterações nas propriedades do aparato contrátil, com consequência na capacidade de geração de força^{25,26}. Ao menos em parte, isso é atribuído ao acúmulo de produtos metabólicos (WILLIAMS *et al.*, 1998). Componentes como H, ADP e Pi afetam adversamente o retículo sarcoplasmático (RS) e o aparato contrátil (WILLIAMS *et al.*, 1992), havendo ainda efeitos decorrentes de decréscimo do Ca intracelular (WILLIAMS *et al.*, 1997). Por outro lado, a recuperação desta variável sugeriu ser influenciada pela redução da temperatura muscular nos grupos CI. Cê *et al.* (2012) demonstraram que ambos, fadiga muscular e resfriamento, reduzem a velocidade de condução neural, comprometendo a contração muscular, justificando a não recuperação da força nos grupos CI.

Com relação às variáveis EMG, no caso do RMS, seus valores permaneceram inalterados ao longo dos quatro momentos em todos os grupos. Para a FM, reduções significativas do momento antes da exaustão para o imediatamente após a exaustão estiveram predominantemente presentes, indicando a ocorrência da fadiga muscular (Tabela 1). De modo similar, elevações significativas desses valores estiveram presentes na maioria dos grupos aos 15 ou 30 minutos após a exaustão. Esses mesmos efeitos sobre o resfriamento também já demonstraram serem responsáveis por interferir em possíveis mudanças no comportamento de variáveis EMG (PETROFSKY; LAYMON, 2005). Contudo, no caso da presente pesquisa, esse mesmo achado ocorreu no grupo RP.

Tabela 1 - Valores de RMS e FM (média e desvio padrão) do músculo RF dos grupos RP e CI obtidos antes (momento 1 – M1), imediatamente após (momento 2 – M2), 15 and 30 minutos (momento 3 – M3 e momento 4 – M4, respectivamente) após teste de exaustão realizado a 40 e 80% da FIM.

Grupos	RF				Valor de p
	M1	M2	M3	M4	
RP 40%	375.63±171.64	389.63±208.88	386.68±179.179	372.97±173.99	0.7364
RP 80%	312.13±115.39	316.37±167.50	330.34±128.22	315.97±133.99	0.8484
CI-5/5 40%	479.75±199.47	451.38±196.12	472.13±145.41	479.13±161.95	0.7840
CI-5/5 80%	446.00±126.62	455.64±169.15	494.09±128.19	469.09±151.89	0.2468
CI-5/10 40%	446.40±186.08	437.60±174.52	469.40±156.83	442.70±147.49	0.7715
CI-5/10 80%	381.71±129.87	367.00±122.35	395.43±118.47	387.57±137.40	0.7713
CI-10/5 40%	444.88±155.70	417.63±134.72	420.13±130.12	414.33±133.33	0.7809
CI-10/5 80%	381.17±82.41	388.67±103.54	409.33±103.31	363.33±109.71	0.5737
CI-10/10 40%	508.80±126.27	530.20±159.11	547.00±146.88	502.10±131.45	0.3777
CI-10/10 80%	477.33±186.80	428.56±151.81	463.22±140.22	438.22±133.76	0.3075

Grupos	RF				Valor de p
	M1	M2	M3	M4	
RP 40%	83.41±12.38 ^B	71.13±13.00 ^A	87.15±11.20 ^B	84.63±11.28 ^B	0.0016[†]
RP 80%	90.95±17.19 ^B	76.95±14.97 ^A	86.76±14.80 ^B	88.94±13.30 ^B	0.0143[‡]
CI-5/5 40%	92.50±15.91	87.75±16.72	89.38±11.55	91.88±15.25	0.6520
CI-5/5 80%	90.82±14.60 ^B	75.73±14.03 ^{AC}	78.55±10.46 ^C	87.45±9.70 ^B	<0.0001[†]
CI-5/10 40%	93.70±10.22 ^B	81.70±13.52 ^{AC}	73.70±8.77 ^A	86.60±10.43 ^{BC}	0.0007[†]
CI-5/10 80%	96.14±12.31 ^B	82.00±10.30 ^A	83.29±13.65 ^A	83.86±10.32 ^A	0.0100[†]
CI-10/5 40%	84.50±15.76	73.38±14.97 ^A	82.13±10.56	86.60±9.17 ^B	0.0292[†]
CI-10/5 80%	95.00±6.16	78.83±10.55	92.83±11.46	95.67±16.40	0.0501
CI-10/10 40%	93.30±13.75	79.40±10.79	81.20±13.16	90.20±16.34	0.0785
CI-10/10 80%	84.78±14.30	70.00±12.03 ^A	81.78±20.35	86.56±16.05 ^B	0.0357[†]

Notas: 1) letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre momentos no teste *post-hoc* 2) testes estatísticos: [†]ANOVA com medidas repetidas e teste *post-hoc* de Tukey-Kramer para comparações múltiplas para dados paramétricos e [‡]teste de Friedman com teste *post-hoc* de Dunn para comparações múltiplas para dados não paramétricos).

Foram constatadas associações significativas entre valores de RMS e fadiga percebida apenas no grupo CI-5/5, em esforços a 40% da FIM. Correlações entre FM e fadiga percebida foram também significativas nos grupos de RP (40 e 80% da FIM) e em dois grupo de CI sempre naqueles em que a temperatura da água foi de 10°C, variando o tempo de imersão, e sempre após os esforços correspondentes a 80% da FIM. Estudos com correlações entre esforço percebido e força máxima, sob condição de resfriamento muscular, não têm sido desenvolvidos. As alterações descritas previamente causadas por esse resfriamento e que modificam parâmetros EMG de amplitude e frequência explicam a fraca correlação entre parâmetros objetivos e subjetivos utilizados para mensurar a fadiga muscular.

Conclusões

Neste estudo, encontramos que a FIM decresceu significativamente em todos os grupos experimentais, mas retornou a níveis similares à condição não fadigada apenas nos grupos de RP. Sob condições de esforços máximos realizados antes e em diferentes momentos após a exaustão, parâmetros EMG não foram capazes de demonstrar a ocorrência da fadiga muscular e da subsequente recuperação em função desses parâmetros apresentarem comportamentos similares em todos os momentos. Por essa mesma razão, não houve correlação entre parâmetros EMG e a fadiga percebida a partir da escala de Borg, enquanto altas correlações entre a fadiga percebida e a FIM foram identificadas, demonstrando que este parâmetro subjetivo é um adequado preditor da fadiga muscular e da capacidade de geração de força.

Referências bibliográficas

- BROPHY-WILLIAMS, N; LANDERS, G.; WALLMAN, K. Effect of immediate and delayed cold water immersion after a high intensity exercise session on subsequent run performance. **J Sports Sci Med**, v. 110, n. 4, p. 665-670, 2011.
- CÊ, E. *et al.* Combined effects of fatigue and temperature manipulation on skeletal muscle electrical and mechanical characteristics during isometric contraction. **J Electromyogr Kinesiol**, v. 22, n. 3, p. 348-355, 2012.
- FONSECA, .L. B. *et al.* Use of cold-water immersion to reduce muscle damage and delayed-onset muscle soreness and preserve muscle power in Jiu-Jitsu athletes. **J Athl Train**, v. 51, n. 7, p. 540-549, 2016.
- GANDEVIA, S. S. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. **Physiol Rev**, v. 81, n. 4, p. 1725-1789, 2001.
- GARCIA, C. A.; da MOTA, C. A.; MAROCOLO, M. Cold water immersion is acutely detrimental but increases performance post-12 h in rugby players. **Int J Sports Med**, v. 37, n. 8, p. 619-624, 2016.

PEAK, J. M. *et al.* The effects of cold water immersion and active recovery on inflammation and cell stress responses in human skeletal muscle after resistance exercise. **J Physiol**, v. 595, n. 3, p. 695-711, 2017.

PETROFSKY, J.; LAYMON, M. Muscle temperature and EMG amplitude and frequency during isometric exercise. **Aviat Space Environ Med**, v. 76, n. 11, p. 1024-1030, 2005.

WASTERBLAD, H.; BRUTON, J. D.; KATZ, A. Skeletal muscle: energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability. **Exp Cell Res**, v. 316, n. 8, p. 3093-3099, 2010.

WILLIAMS, J. H. *et al.* Functional aspects of skeletal muscle contractile apparatus and sarcoplasmic reticulum after fatigue. **J Appl Physiol**, v. 85, n. 2, p. 619-626, 1998.

WILLIAMS, J. H. Contractile apparatus and sarcoplasmic reticulum function: effects of fatigue, recovery, and elevated Ca²⁺. **J Appl Physiol**. v. 83, n. 2, p. 444-450, 1997.

WILLIAMS, J. H.; WARD, C. W. Reduced Ca²⁺-induced Ca²⁺ release from skeletal muscle sarcoplasmic reticulum at low pH. **Can J Physiol Pharmacol**, v. 70, n. 6, p. 926-930, 1992.